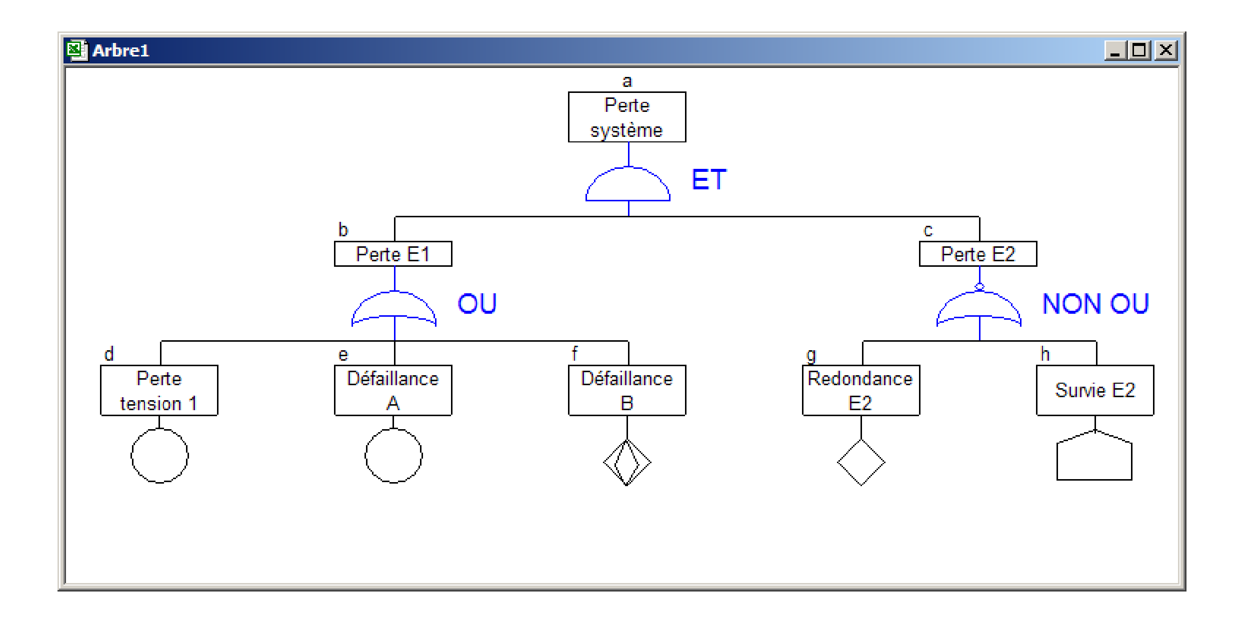
Cab Innovation
3 rue de la Coquille
31500 Toulouse
Tel. 33 (0)5 61 54 68 08
Fax. 33 (0)5 61 54 33 32
Mail : Contact@cabinnovation.com
Web : www.cabinnovation.com



CABTREE Version 14

sous Microsoft EXCEL®



Arbre d'événements / Arbre de fautes

Manuel utilisateur

AVERTISSEMENT

Le logiciel ***CABTREE BASIC*** version 4 reprend certaines des fonctionnalités du logiciel ***CABTREE*** version 14. Il ne fait pas l'objet d'un manuel utilisateur spécifique.

Ce logiciel a été inscrit au répertoire I.D.D.N. (Inter Deposit Digital Number) par l'Agence pour la Protection des Programmes (A.P.P.), avec les références suivantes :

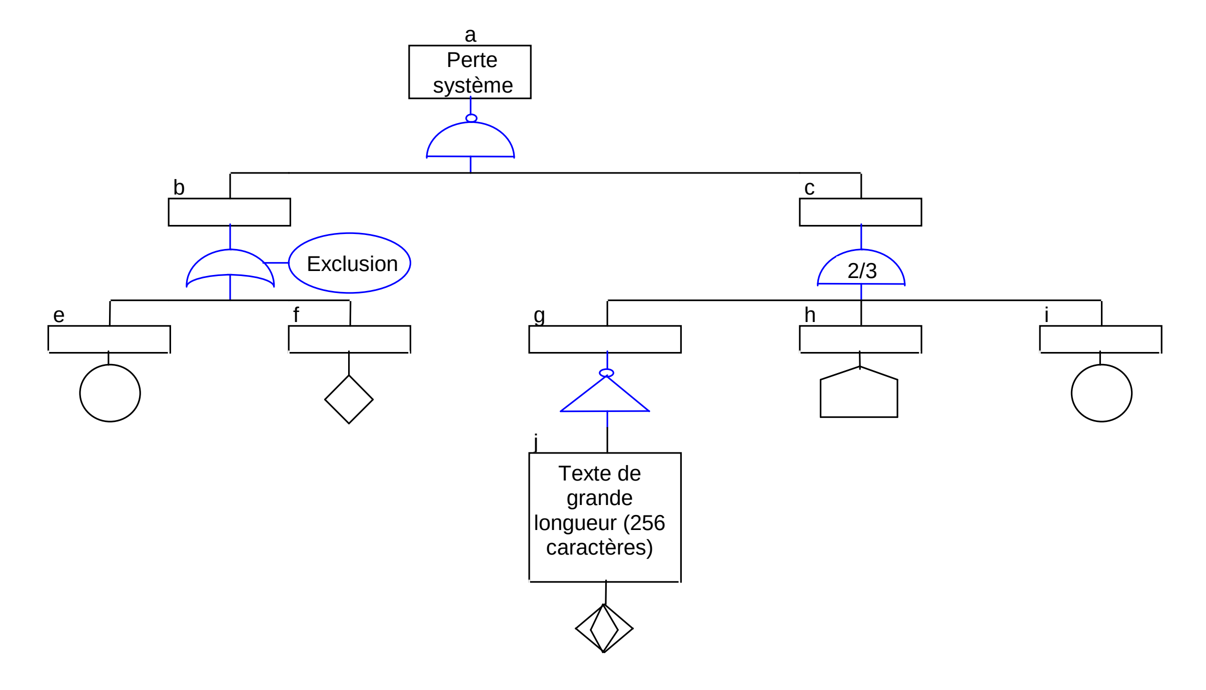
IDDN.FR.001.070017.00.R.P.2000.000.20600

SOMMAIRE :

1 Le logiciel *CABTREE*

1.1 Présentation générale

Le logiciel ***CABTREE*** permet de construire et de traiter les arbres de fautes ou d'événements conformément aux normes internationales en vigueur.
Outre son ergonomie et sa capacité à effectuer des calculs exacts, sans aucune approximation, il présente l'originalité d'intégrer une fonction de simulation dynamique. Cette fonction permet notamment de traiter les portes DELAI (temporisation) et ET CONDITIONNE (b ET c si b avant c).



Ses principales fonctionnalités sont les suivantes :

- Construction directe de l'arbre au moyen de barres d'outils ou dessin automatique à partir d'une description textuelle saisie préalablement dans une table.
- Prise en compte des portes OU, ET, NON, NON-OU, NON-ET, OU exclusive et K parmi N (dessin des portes ET et OU conditionnées et de la porte Matricielle).
- Prise en compte des lois Exponentielle, Normale, Lognormale, Weibull et Gamma pour définir la probabilité d'occurrence des événements de base.
- Recherche des coupes minimales classées suivant l'ordre ou la probabilité d'occurrence.
- Calcul exact des probabilités d'événement (par application du théorème de Bayes) sur un intervalle de temps (courbes) et du facteur d'importance des événements de base.
- Simulation dynamique de l'arbre (Monte-Carlo) permettant de prendre en compte des lois d'apparition et de disparition des événements de base ainsi que certaines

relations de dépendance entre événements et de traiter les portes DELAI et ET CONDITIONNE.

- Découpage automatique de l'arbre sur plusieurs feuilles de classeur avec gestion des renvois.

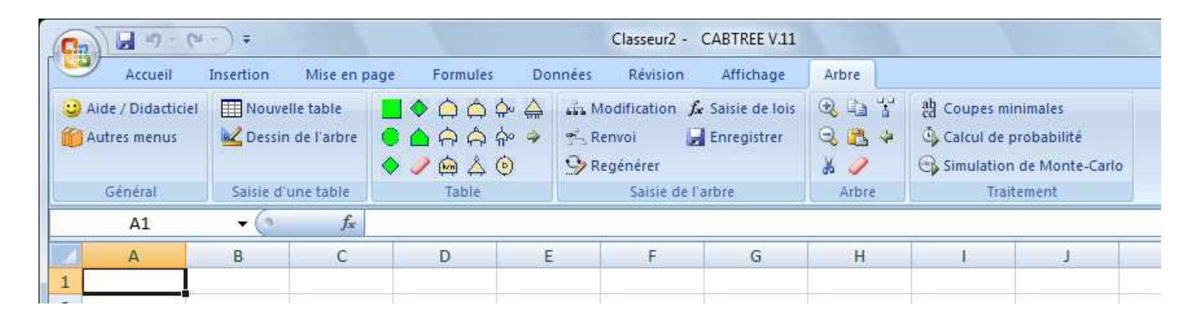
- Découpe et formatage automatique de l'arbre ou de l'une de ses branches pour impression.

1.2 Installation de *CABTREE* sur disque dur

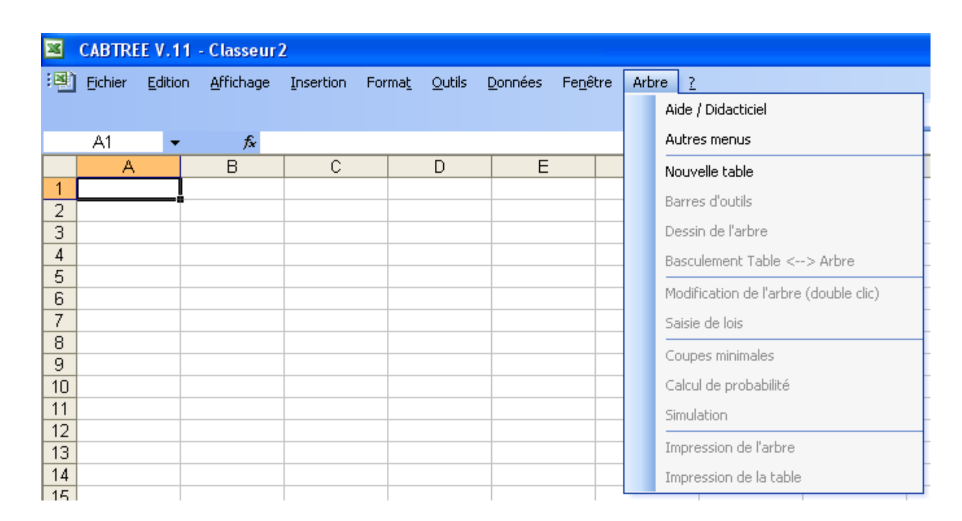
Se conformer aux instructions indiquées sur le support.

1.3 Pour lancer *CABTREE*

Ouvrir sous EXCEL le fichier CABTREE.XLA.
Les fonctionnalités de l'outil sont alors accessibles par le menu "Arbre", celles du tableur restant toujours disponibles.



Bandeau sur les versions d'Excel postérieures à 2007



Menu sur les versions d'Excel antérieures à 2007

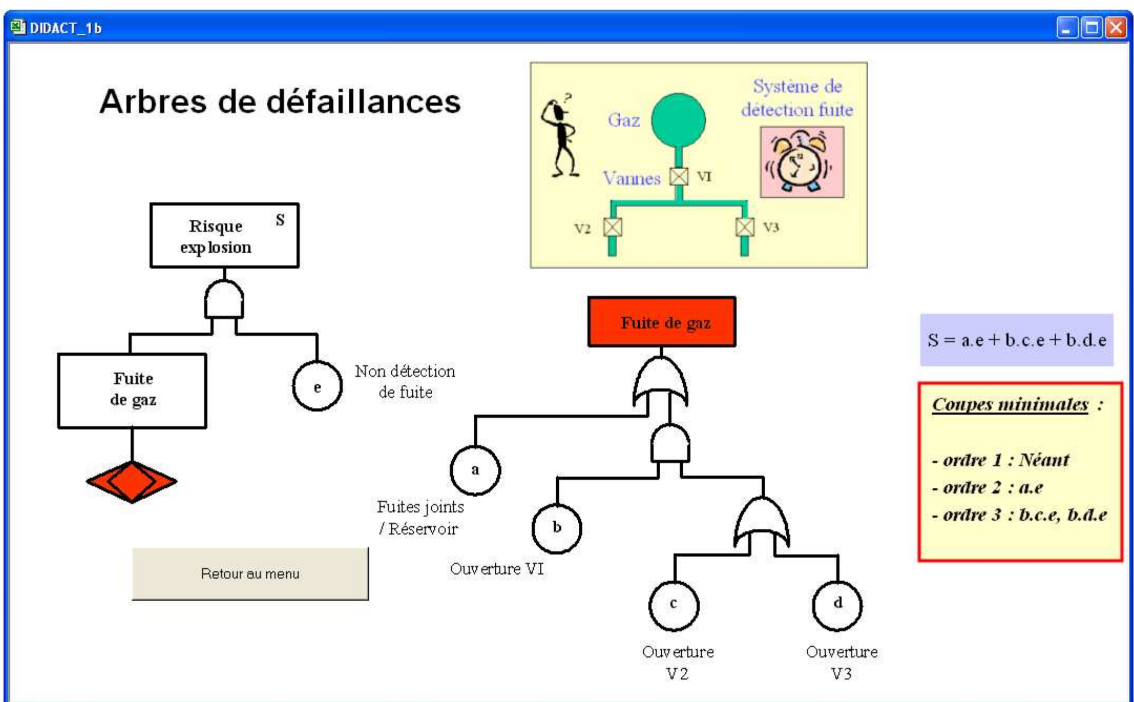
Une aide et un didacticiel sont proposés dans le menu.

2 Didacticiel

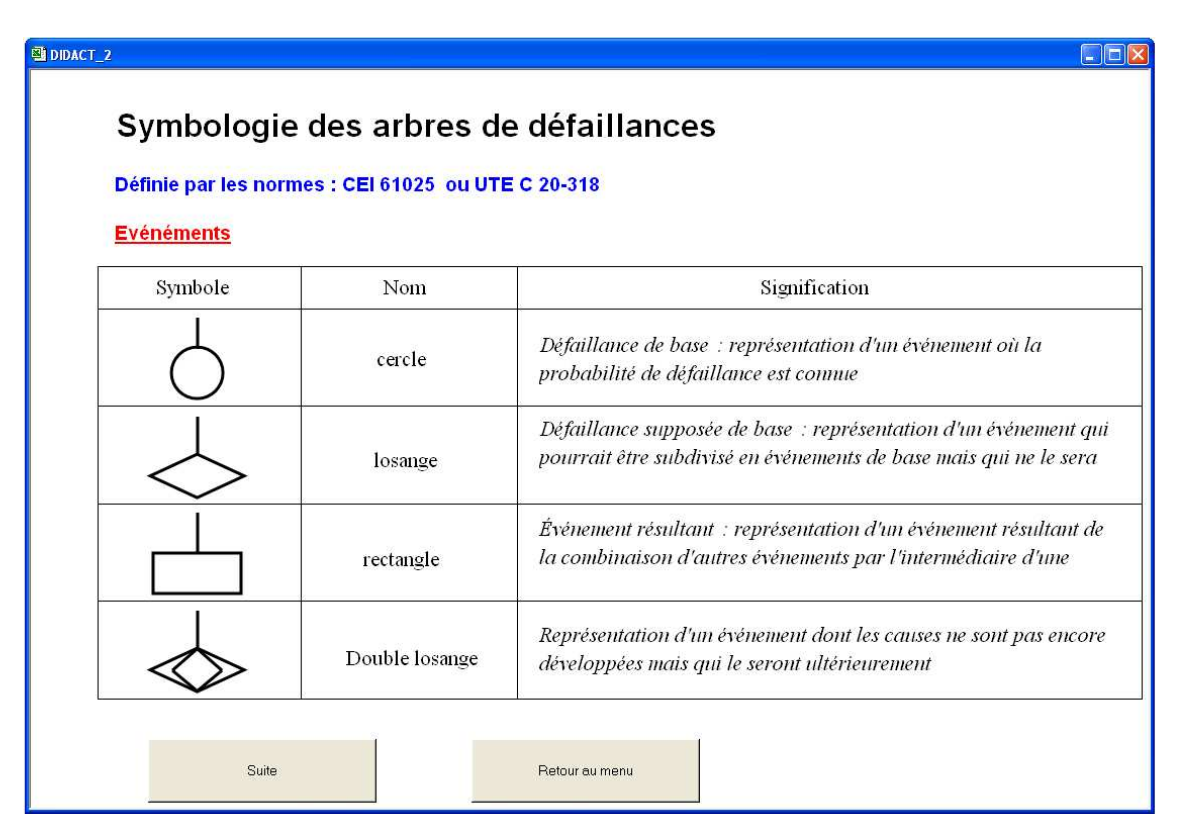
Le didacticiel présente les arbres de défaillances au moyen de diverses planches et démonstrations.

2.1 Rappel sur les arbres de défaillances





2.2 Symbologie


DIDACT_2

Symbologie des arbres de défaillances

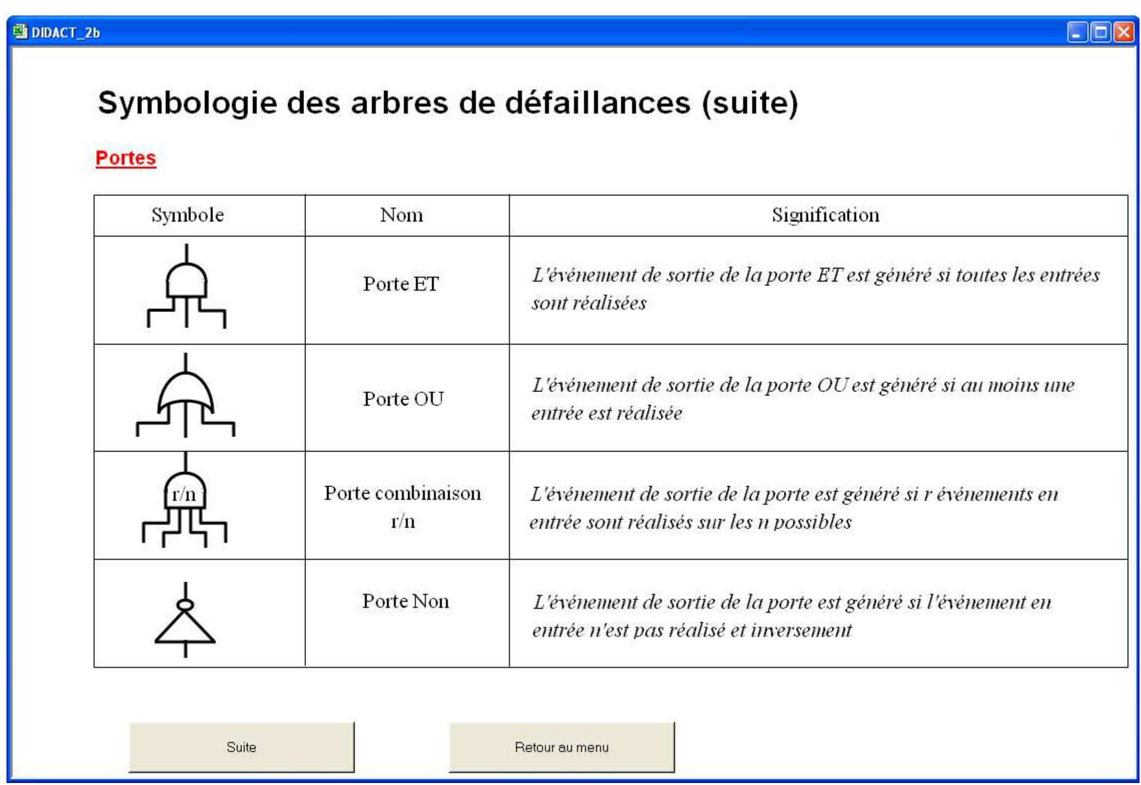
Définie par les normes : CEI 61025 ou UTE C 20-318

Evénements

Symbole	Nom	Signification
	cercle	*Défaillance de base : représentation d'un événement où la probabilité de défaillance est connue*
	losange	*Défaillance supposée de base : représentation d'un événement qui pourrait être subdivisé en événements de base mais qui ne le sera*
	rectangle	*Événement résultant : représentation d'un événement résultant de la combinaison d'autres événements par l'intermédiaire d'une*
	Double losange	*Représentation d'un événement dont les causes ne sont pas encore développées mais qui le seront ultérieurement*

Suite

Retour au menu


DIDACT_2b

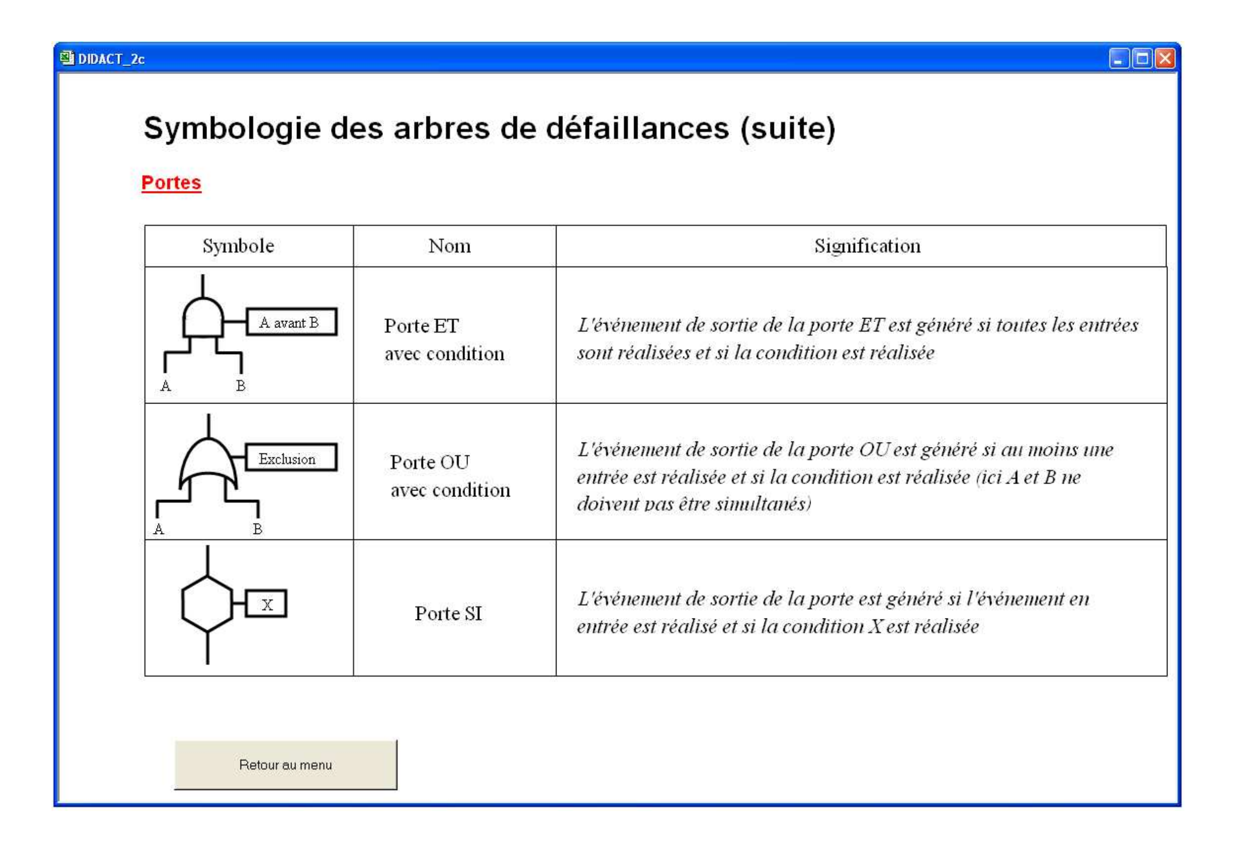
Symbologie des arbres de défaillances (suite)

Portes

Symbole	Nom	Signification
	Porte ET	*L'événement de sortie de la porte ET est généré si toutes les entrées sont réalisées*
	Porte OU	*L'événement de sortie de la porte OU est généré si au moins une entrée est réalisée*
r/n	Porte combinaison r/n	*L'événement de sortie de la porte est généré si r événements en entrée sont réalisés sur les n possibles*
	Porte Non	*L'événement de sortie de la porte est généré si l'événement en entrée n'est pas réalisé et inversement*

Suite

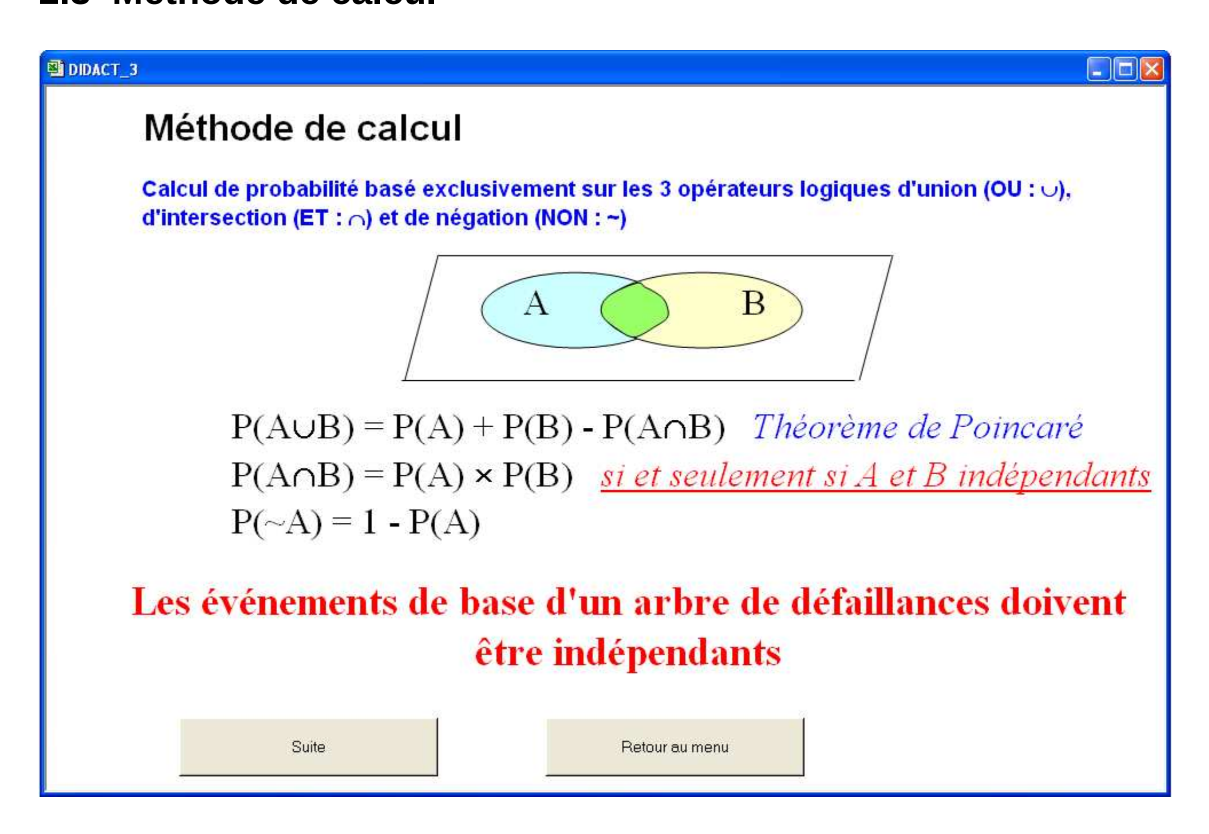
Retour au menu

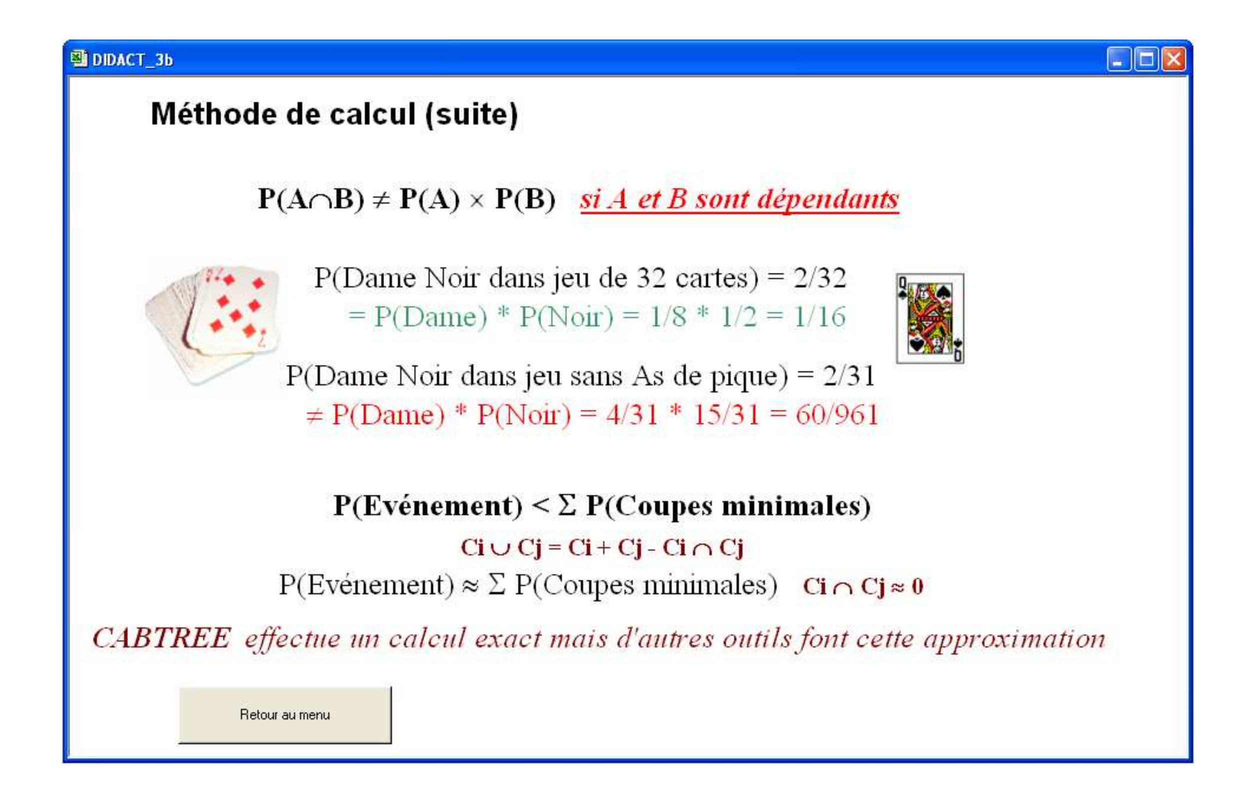


Symbole	Nom	Signification
	Porte ET avec condition	*L'événement de sortie de la porte ET est généré si toutes les entrées sont réalisées et si la condition est réalisée*
	Porte OU avec condition	*L'événement de sortie de la porte OU est généré si au moins une entrée est réalisée et si la condition est réalisée (ici A et B ne doivent pas être simultanés)*
	Porte SI	*L'événement de sortie de la porte est généré si l'événement en entrée est réalisé et si la condition X est réalisée*

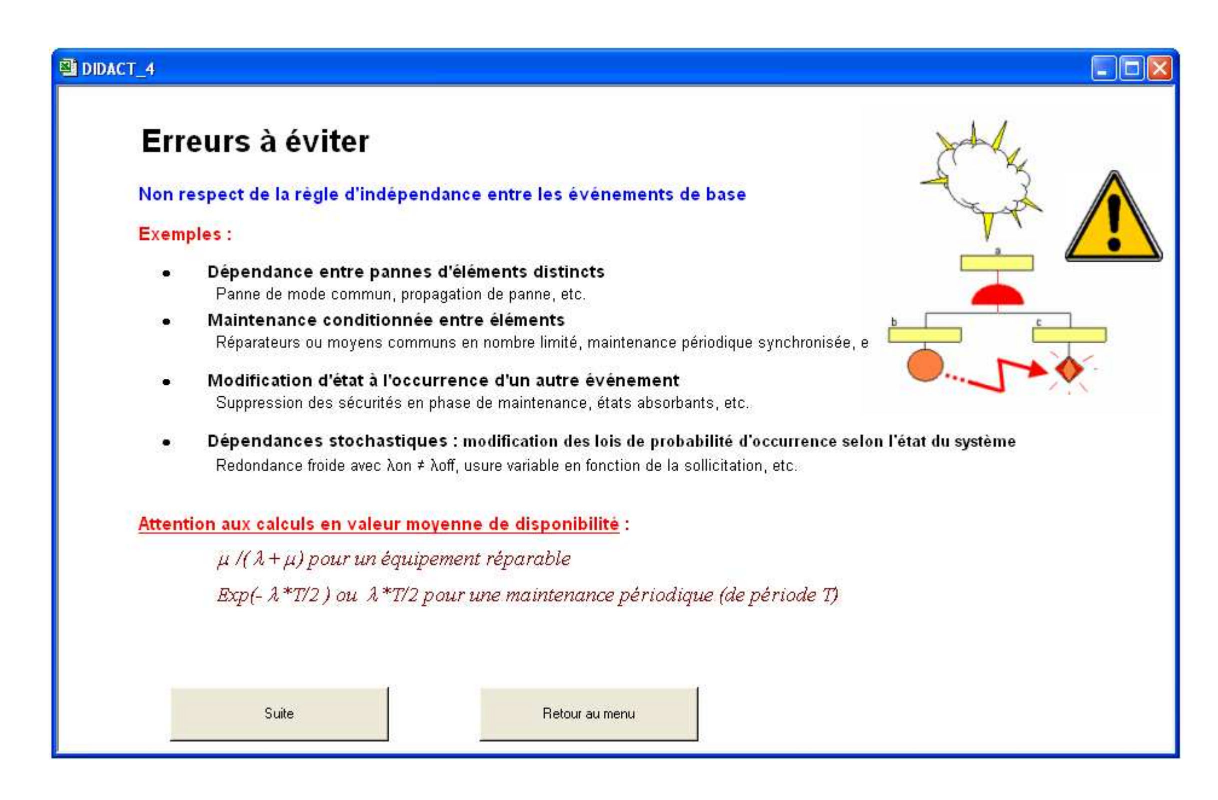
La porte OU Exclusive est définie par une porte OU Conditionnée dont la condition est "Exclusion".

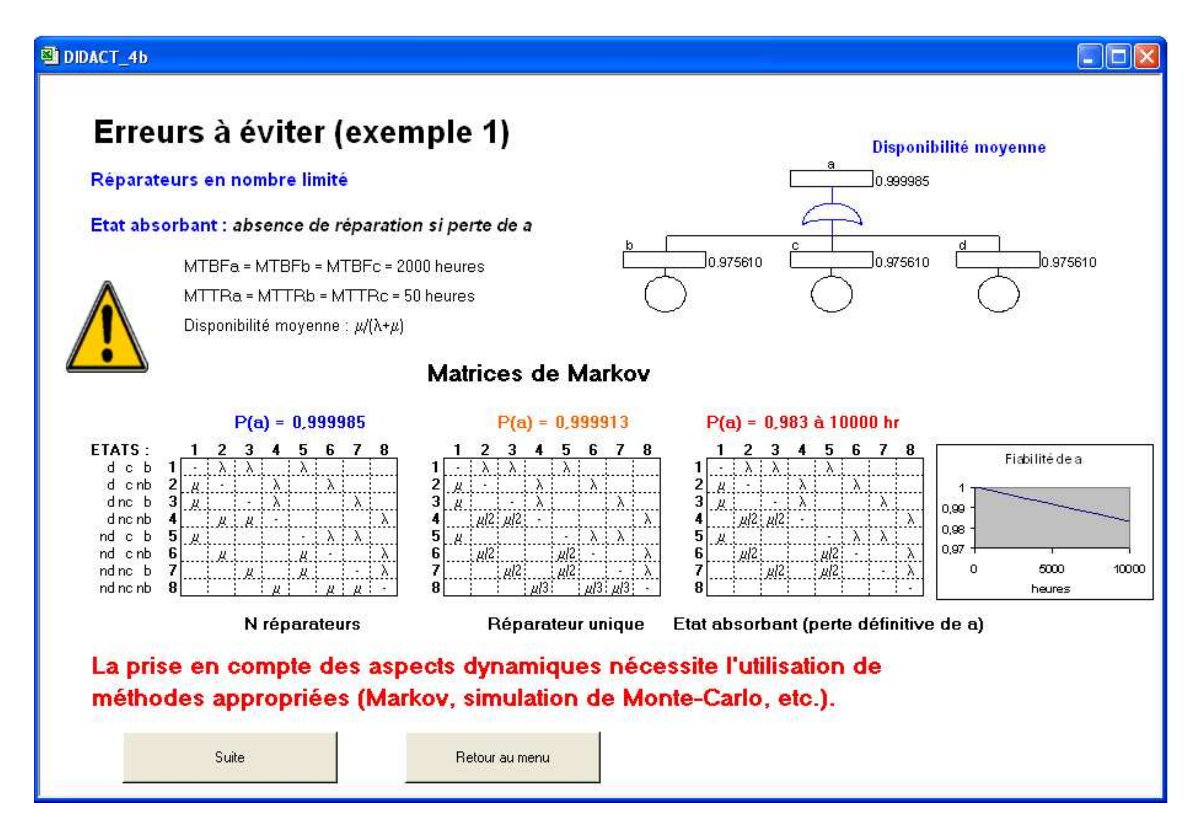
2.3 Méthode de calcul

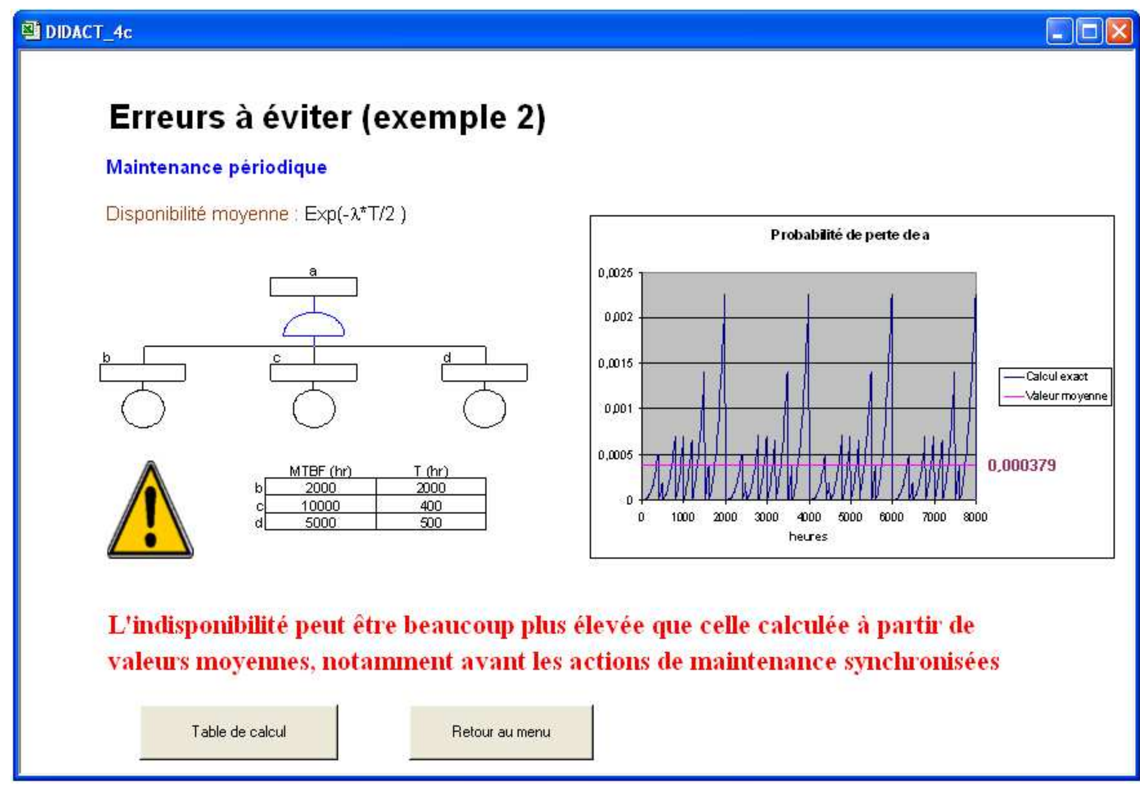




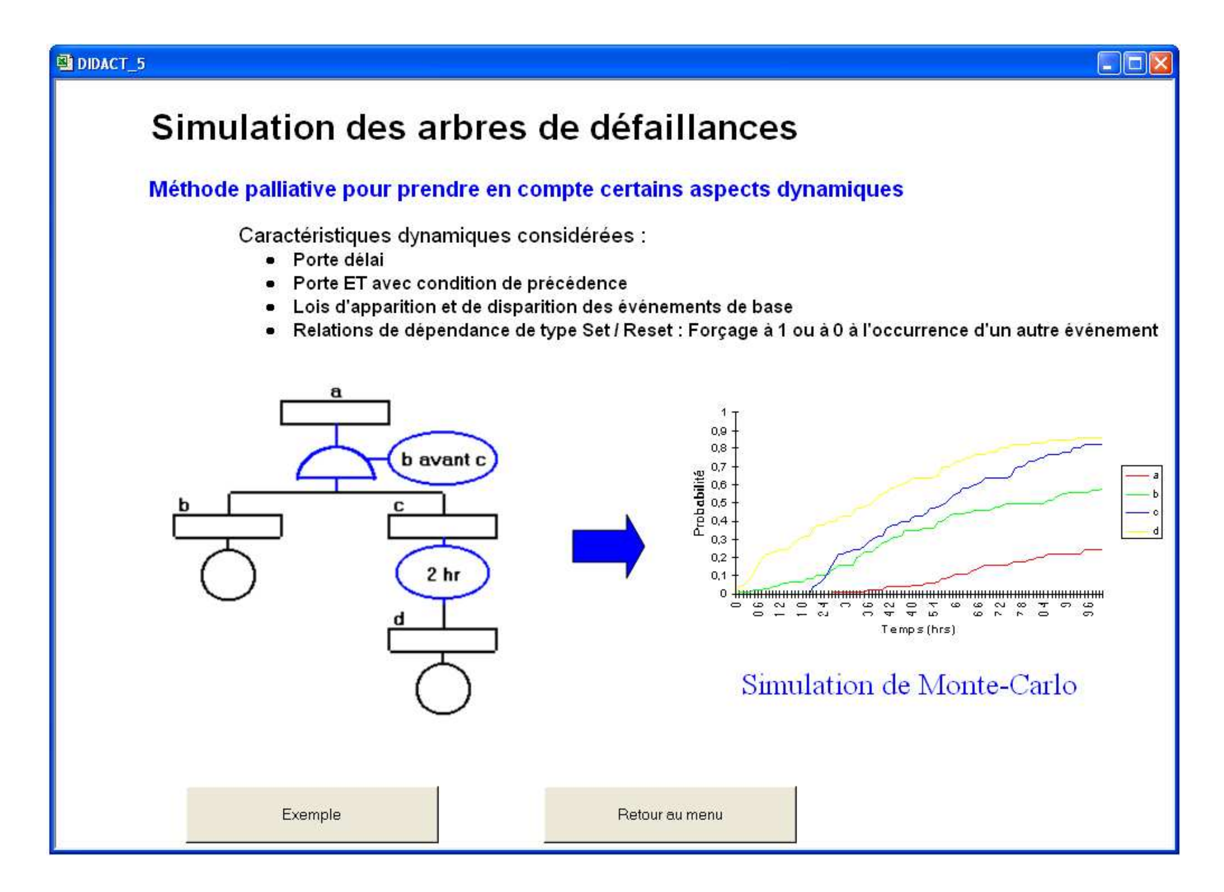
2.4 Erreurs à éviter

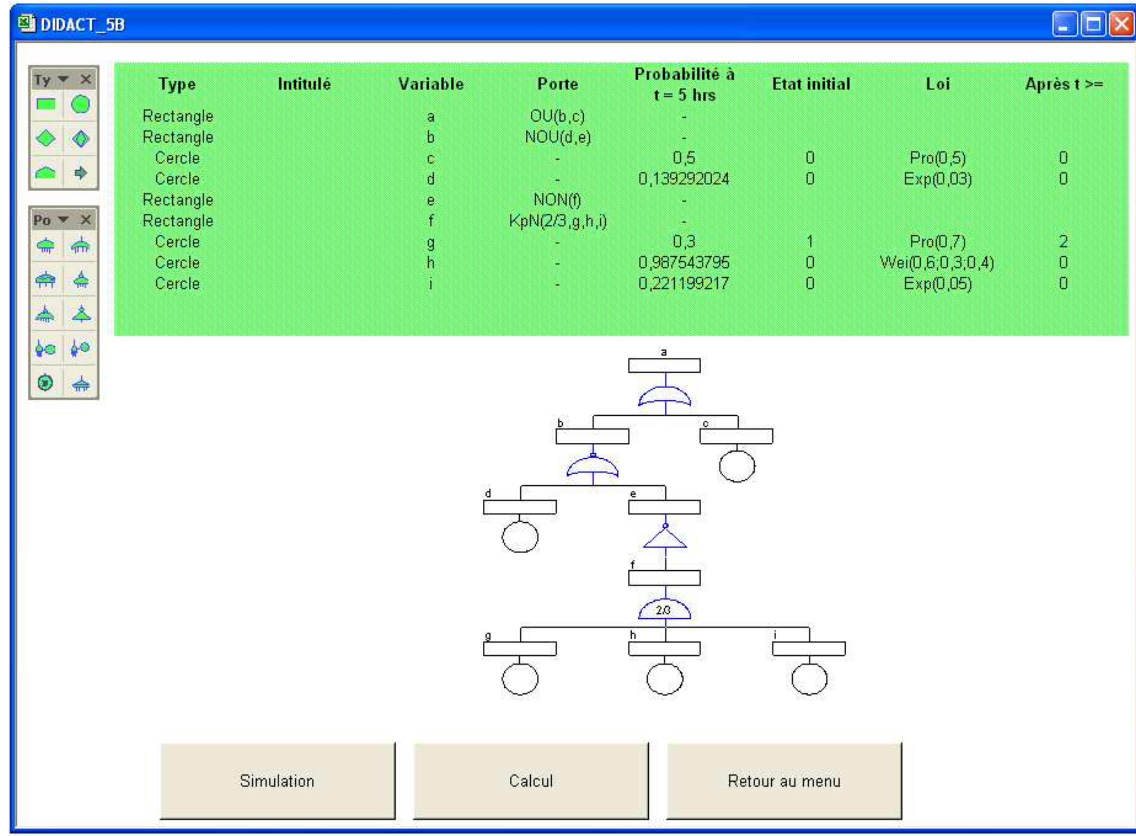



DIDACT_4b
Erreurs à éviter (exemple 1)
Réparateurs en nombre limité
Etat absorbant : absence de réparation si perte de a
MTBFa = MTBFb = MTBFc = 2000 heures
MTTRa = MTTRb = MTTRc = 50 heures
Disponibilité moyenne : μ/(λ+μ)
Disponibilité moyenne
a
0.999985
b
0.975610
c
0.975610
d
0.975610
Matrices de Markov
P(a) = 0,999985
P(a) = 0,999913
P(a) = 0,983 à 10000 hr
ETATS :
d c b
d c nb
d nc b
d nc nb
nd c b
nd c nb
nd nc b
nd nc nb
Fiabilité de a
heures
N réparateurs
Réparateur unique
Etat absorbant (perte définitive de a)
La prise en compte des aspects dynamiques nécessite l'utilisation de méthodes appropriées (Markov, simulation de Monte-Carlo, etc.).
Suite
Retour au menu


DIDACT_4c
Erreurs à éviter (exemple 2)
Maintenance périodique
Disponibilité moyenne : Exp(-λ*T/2)
a
b
c
d
MTBF (hr)
T (hr)
b 2000 2000
c 10000 400
d 5000 500
Probabilité de perte de a
Calcul exact
Valeur moyenne
0,000379
heures
L'indisponibilité peut être beaucoup plus élevée que celle calculée à partir de valeurs moyennes, notamment avant les actions de maintenance synchronisées
Table de calcul
Retour au menu

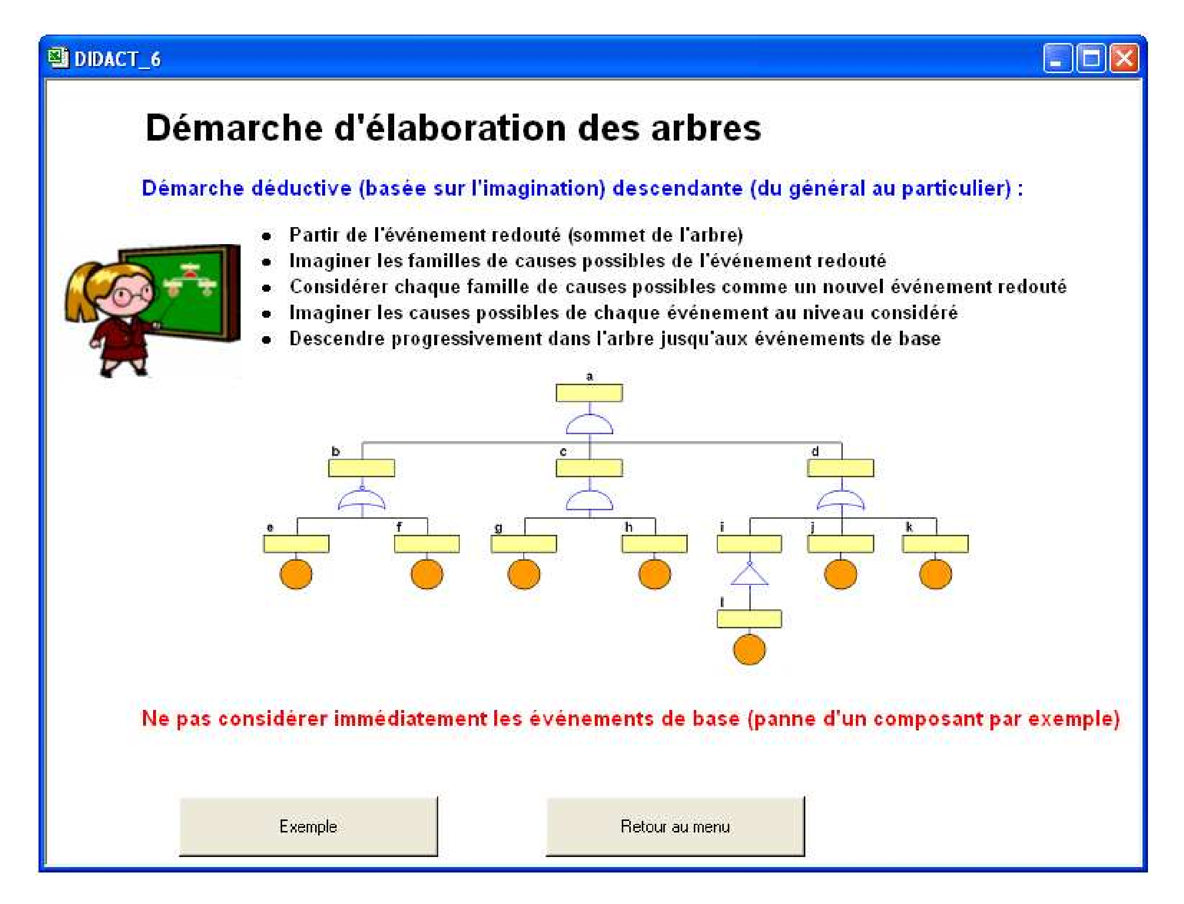
2.5 Simulation des arbres

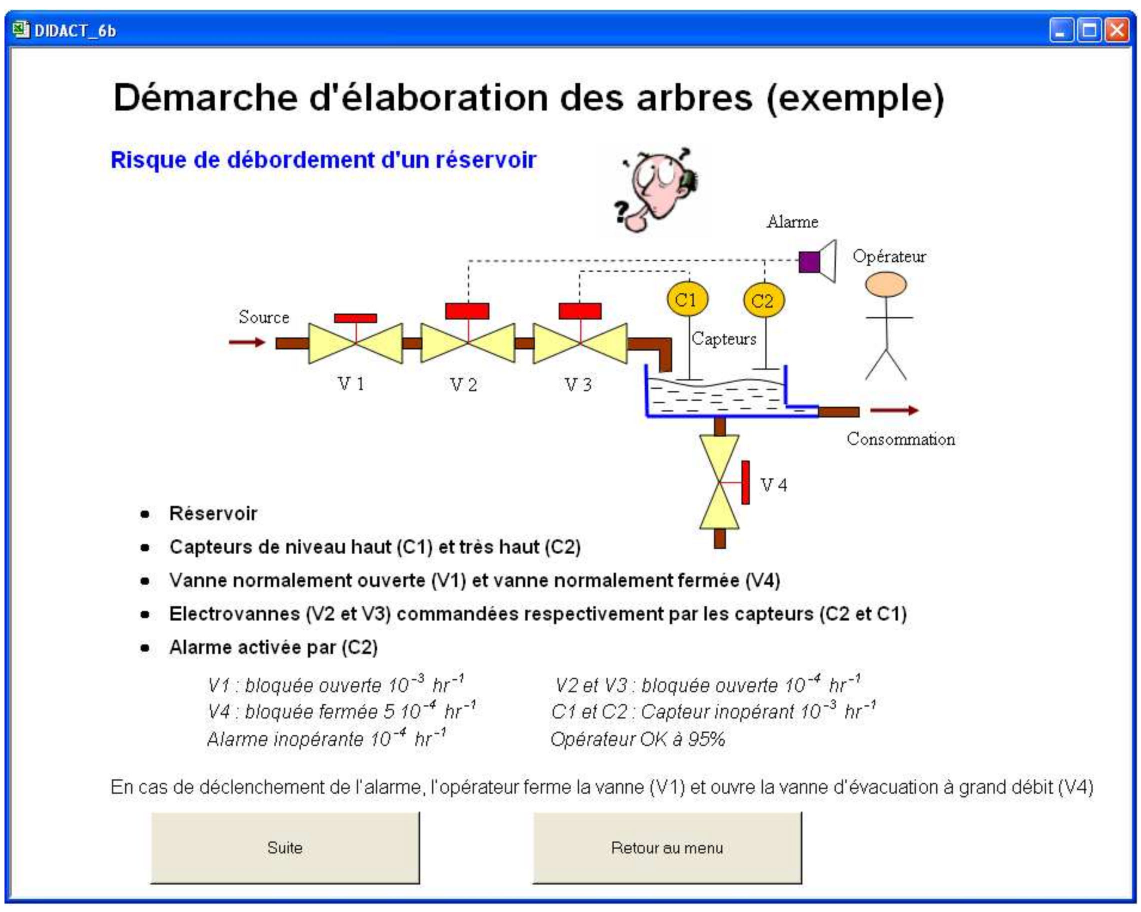


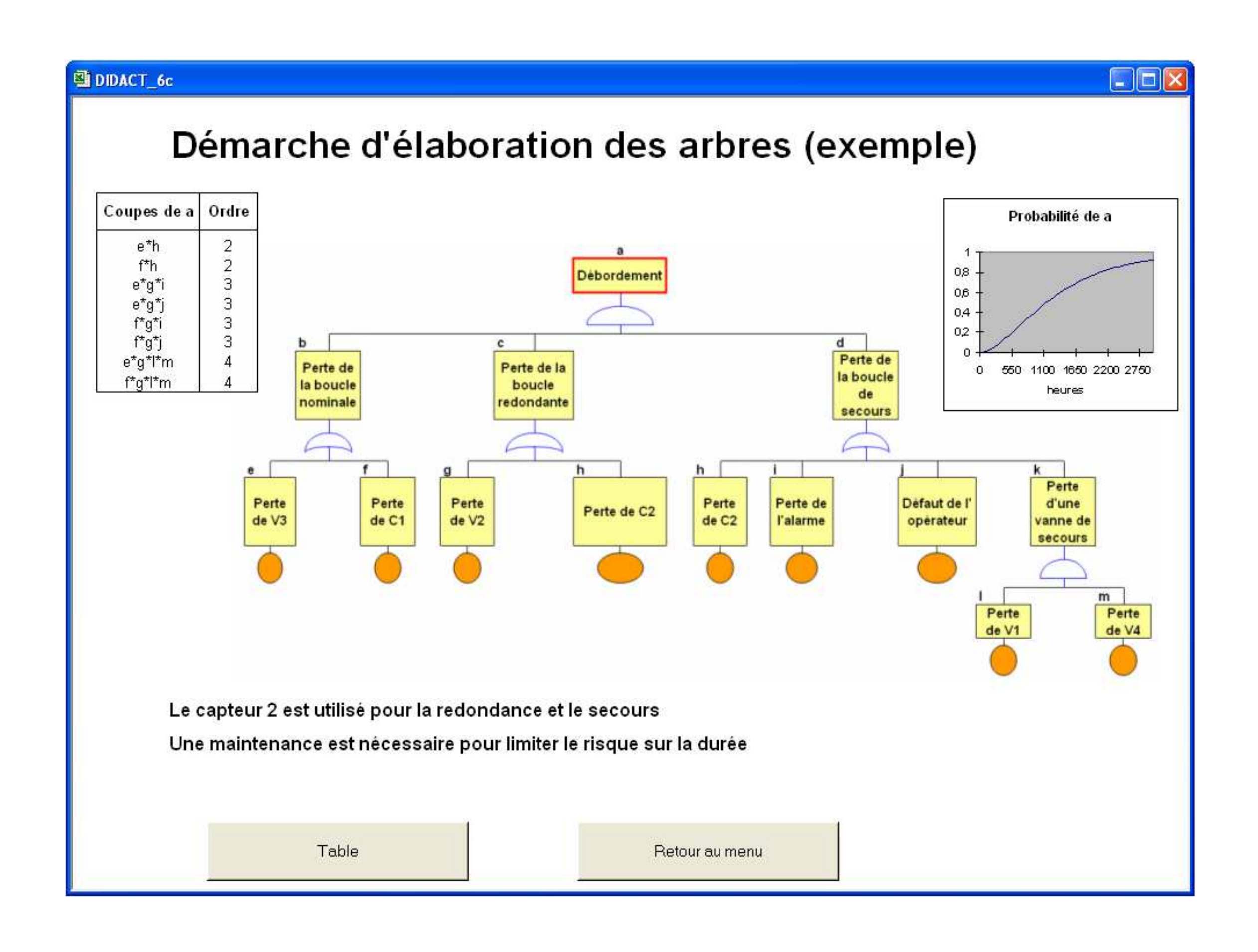


Type	Intitulé	Variable	Porte	Probabilité à t = 5 hrs	Etat initial	Loi	Après t >=
Rectangle		a	OU(b,c)	-			
Rectangle		b	NOU(d,e)	-			
Cercle		c	-	0,5	0	Pro(0,5)	0
Cercle		d	-	0,139292024	0	Exp(0,03)	0
Rectangle		e	NON(f)	-			
Rectangle		f	KpN(2/3,g,h,i)	-			
Cercle		g	-	0,3	1	Pro(0,7)	2
Cercle		h	-	0,987543795	0	Wei(0,6;0,3;0,4)	0
Cercle		i	-	0,221199217	0	Exp(0,05)	0

2.6 Démarche d'élaboration des arbres





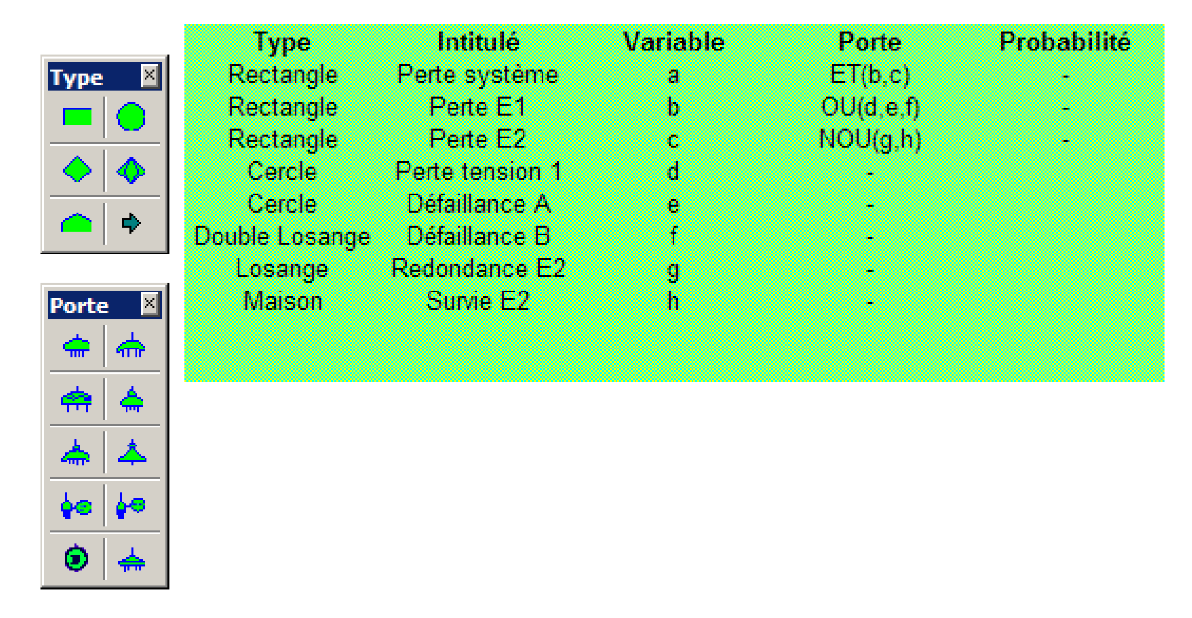

DIDACT_6c
Démarche d'élaboration des arbres (exemple)
Coupes de a
Ordre
e*h 2
f*h 2
e*g*i 3
e*g*j 3
f*g*i 3
f*g*j 3
e*g*l*m 4
f*g*l*m 4
Probabilité de a
heures
a Débordement
b Perte de la boucle nominale
c Perte de la boucle redondante
d Perte de la boucle de secours
e Perte de V3
f Perte de C1
g Perte de V2
h Perte de C2
h Perte de C2
i Perte de l'alarme
j Défaut de l' opérateur
k Perte d'une vanne de secours
l Perte de V1
m Perte de V4
Le capteur 2 est utilisé pour la redondance et le secours
Une maintenance est nécessaire pour limiter le risque sur la durée
Table
Retour au menu

3 Saisie d'un arbre

L'arbre peut-être généré à partir d'une description textuelle saisie préalablement dans une table, ou construit par assemblage des différents types d'événements et de portes directement sur le graphique ; cette seconde méthode étant préconisée. Sur les versions d'Excel postérieures à la version 4, l'arbre peut être découpé sur plusieurs feuilles d'un classeur afin d'en améliorer la lisibilité.

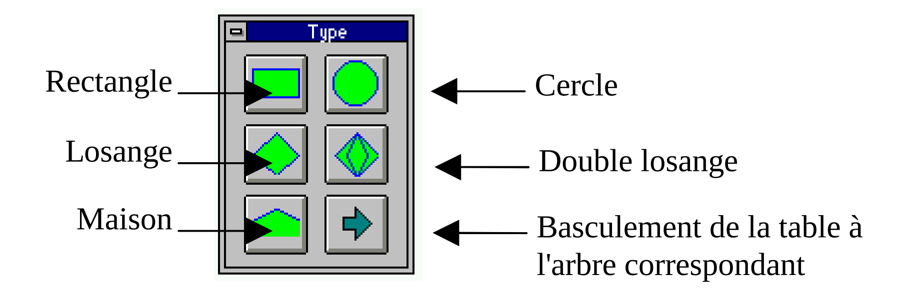
3.1 Saisie au moyen d'une table

La commande ″Nouvelle table″ du menu permet d'obtenir une table telle que celle présentée ci-dessous :

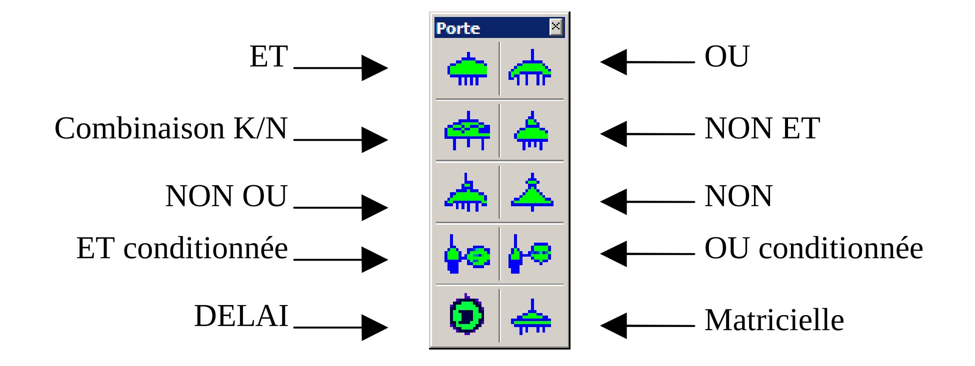


Type	Intitulé	Variable	Porte	Probabilité
Rectangle	Perte système	a	ET(b,c)	-
Rectangle	Perte E1	b	OU(d,e,f)	-
Rectangle	Perte E2	c	NOU(g,h)	-
Cercle	Perte tension 1	d	-	
Cercle	Défaillance A	e	-	
Double Losange	Défaillance B	f	-	
Losange	Redondance E2	g	-	
Maison	Survie E2	h	-	

L'événement ″a″ est le sommet de l'arbre, et les barres d'outils ″Type″ et ″Porte″ sont proposées à l'utilisateur pour créer d'autres événements et définir leur type ainsi que la porte logique correspondante dans le cas des événements de type rectangle.



L'activation d'un bouton de la barre d'outils ″Type″ crée un nouvel événement, du type choisi par l'utilisateur, à la ligne en dessous de la cellule sélectionnée quand celle-ci se trouve dans la table. Il est possible de modifier un type d'événement déjà créé en sélectionnant préalablement cet événement dans la cellule du champ ″Type″ de la table.



L’activation d’un bouton de la barre d’outils ″Porte″ permet de définir la porte logique d’un événement de type rectangle.
Celle-ci commande l’affichage d’une boîte de dialogue dans laquelle l’utilisateur saisit les noms des événements entrant dans la porte (séparés par des virgules) :

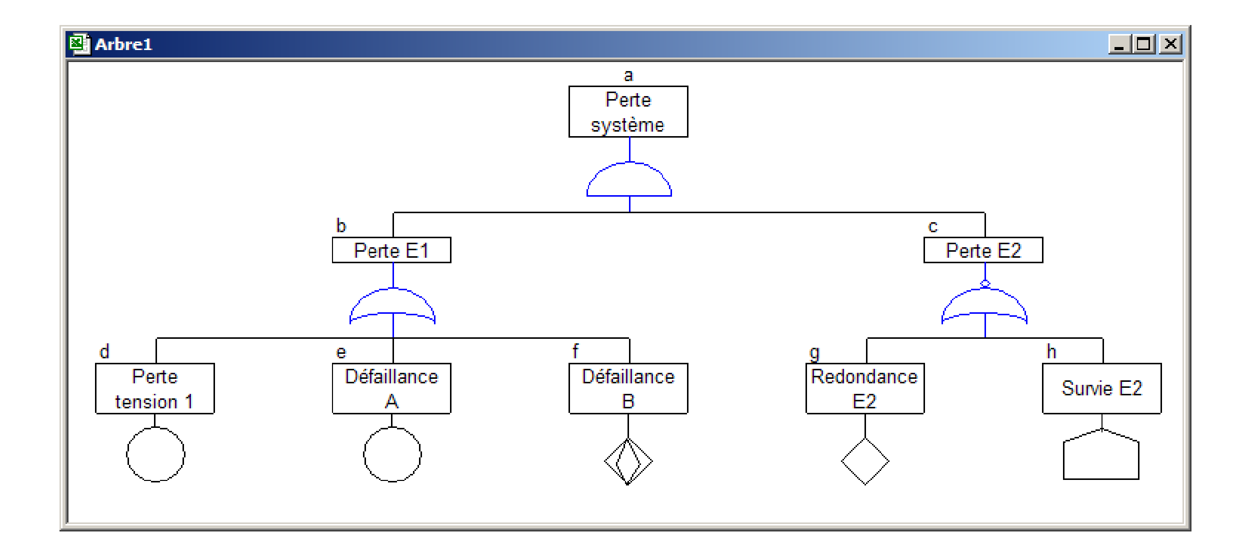


Dans le cas d’une porte conditionnée ou d’une combinaison K/N, une seconde boîte de dialogue est utilisée pour définir la porte :



L’intitulé de chaque événement peut contenir jusqu'à 256 caractères (Taper ALT avec retour chariot pour revenir à la ligne dans une cellule).
Les probabilités des événements de base peuvent être directement saisies dans le champ correspondant ou seront calculées ultérieurement par l'outil à partir de lois de probabilités (c.f. chapitre "Saisie de lois").
La commande ″Dessin de l’arbre″ du menu permet de dessiner l’arbre complet correspondant à la table, ou de se limiter au dessin de l'une de ses branches, en utilisant la boîte de dialogue ci-dessous :

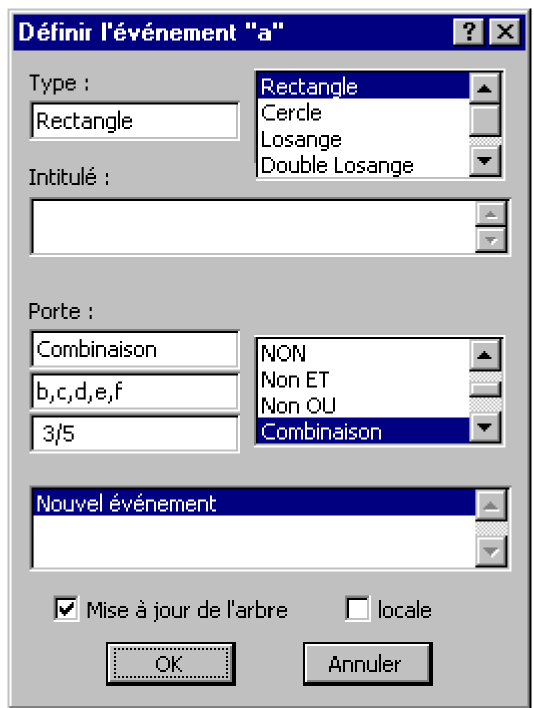




La case à cocher "Suppression du dessin précédent" permet de limiter le nombre de documents générés à partir d'une même table.
Des valeurs de probabilités préalablement saisies ou calculées par l'outil peuvent apparaître sur l'arbre généré en cochant la case "Affichage des probabilités".

3.2 Saisie directe de l'arbre

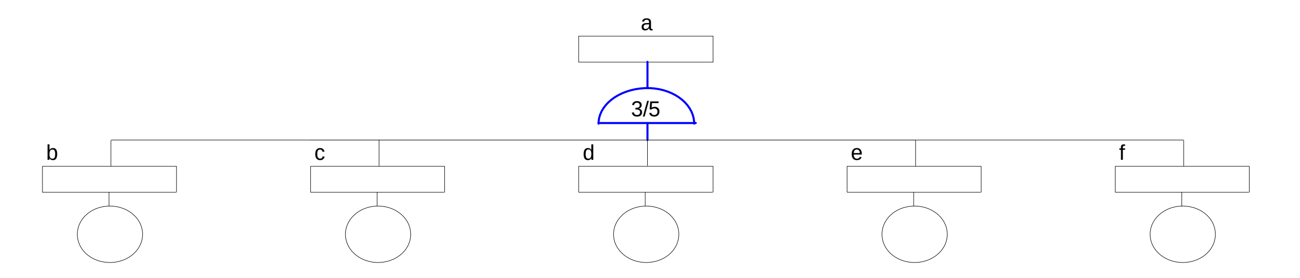
La saisie directe d'un arbre nécessite de créer préalablement une table vierge avant d'activer la commande ″Dessin de l'arbre″ du menu.
La boîte de dialogue ci-dessous apparaît alors pour définir l'événement sommet "a". La même boîte de dialogue sera utilisée ultérieurement pour définir ou modifier les événements de l'arbre.



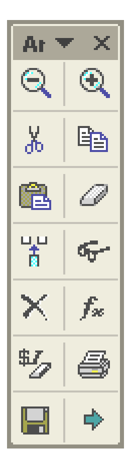
Deux listes déroulantes de la boîte de dialogue permettent de choisir le type d’événements et de portes logiques. Une troisième liste permet de sélectionner ou de créer les événements entrant dans la porte. Ces derniers apparaissent dans la case située sous le nom de la porte (séparés par des virgules).
Dans le cas d’une porte conditionnée ou d’une combinaison K/N la case située immédiatement en dessous est utilisée pour définir la condition (Exemple : Exclusion), ou les valeurs de K et N (Exemple : 3/5).

Une case à cocher permet de commander la mise à jour du dessin de l’arbre (en plus de celle de la table) après l’activation du bouton OK. Une seconde case à cocher permet de limiter ce dessin à des modifications locales quand la structure même de l’arbre n’est pas modifiée (modifications limitées à la feuille active quand l’arbre est découpé sur plusieurs feuilles).

Après activation du bouton OK, des boîtes de dialogue similaires apparaissent successivement pour définir les différents événements entrant dans la porte de l'événement "a". Des événements de type "Cercle" sont proposés par défaut à l'utilisateur que celui-ci peut modifier immédiatement ou ultérieurement à partir d'un premier dessin. Ce dernier apparaît quand tous les événements ont été définis.

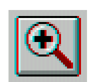


La boîte de dialogue, ci-dessous, s'affiche avec le dessin de l'arbre. Celle-ci permet de modifier l'arbre directement sur le graphique, tout en mettant à jour la table correspondante.



La signification des boutons est la suivante :

 Diminue le facteur de zoom de l'affichage.

 Augmente le facteur de zoom de l'affichage.

Coupe un événement sélectionné sur le dessin, ainsi que la branche qui le définit s'il est de type "Rectangle".

Copie un événement sélectionné sur le dessin, ainsi que la branche qui le définit s'il est de type "Rectangle".

Ajoute un événement préalablement coupé ou copié, avec éventuellement la branche correspondante, aux événements de la porte de l'événement sélectionné sur le dessin. Dans le cas d'un événement préalablement copié, une boîte de dialogue permet à l'utilisateur de coller directement celui-ci ou de coller un événement similaire ayant les mêmes caractéristiques mais de nom différent. Une branche similaire est alors reconstituée automatiquement si l'événement est de type rectangle.

Efface un événement sélectionné sur le dessin, ainsi que la branche qui le définit s'il est de type "Rectangle".

Ajoute un événement de type "Cercle" aux événements de la porte de l'événement sélectionné sur le dessin.

Permet de modifier l'événement sélectionné sur le dessin en faisant apparaître la boîte de dialogue précédemment décrite pour définir l'événement sommet. Cette même boîte de dialogue peut également s'afficher par un simple ″double clic″ sur la souris ou par la commande ″Modification de l’arbre″ du menu.

Permet de découper l’arbre sur plusieurs feuilles de classeur au niveau de l'événement sélectionné. Ce même bouton permet de supprimer un tel découpage. Un système de renvoi entre les feuilles de l’arbre permet de passer d’un événement à sa décomposition, et réciproquement, par un simple clic de la souris.

 Active la commande « Saisie de lois » du menu.

Régénère toute la numérotation (lettres) des événements de l’arbre afin d’améliorer sa lisibilité.

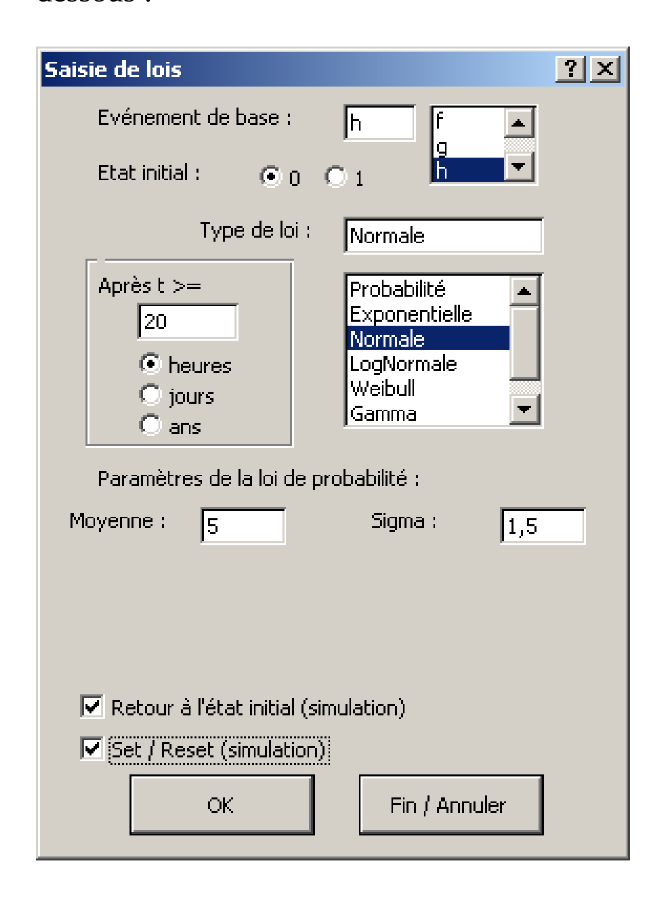
Enregistre la table de l’arbre à partir de ce dernier.

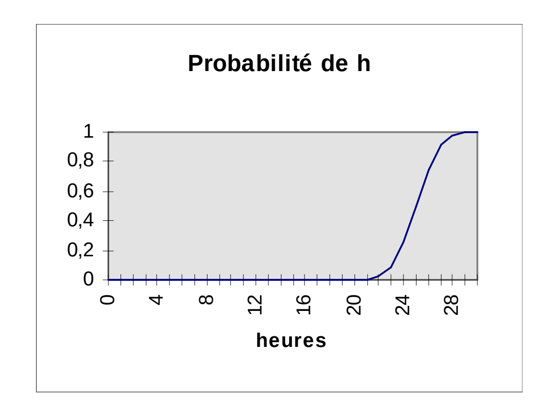
Commande l'impression de l'arbre de la même manière que la commande correspondante du menu (voir le chapitre "Impression").

Commande le basculement de l'arbre à la table correspondante. La commande ″Basculement Table ↔ Arbre″ du menu a un effet similaire.

4 Saisie de lois

La commande ″ Saisie de lois ″ du menu permet de définir des lois de probabilité d'occurrence des événements de base au moyen de la boîte de dialogue présentée ci-dessous :





Les événements de base peuvent être choisis dans la boîte de dialogue au moyen d'une liste déroulante.

Pour chaque événement, l'utilisateur peut définir l'état initial (0 ou 1), une durée, dans l'unité sélectionnée, pendant laquelle l'événement reste dans cet état (Après t ≥ 20 heures), ainsi qu'une loi caractérisant le changement d'état qui est choisie au moyen d'une liste déroulante parmi les lois de probabilité suivantes :

- Probabilité (valeur) → Simple valeur de probabilité
- Exponentielle (lambda) → Avec ou sans maintenance périodique
- Normale (moyenne, sigma)
- LogNormale (a, b)
- Weibull (béta, gamma, sigma) → Avec ou sans maintenance périodique
- Gamma (béta, lambda)
- Disponibilité (lambda, mu) → Disponibilité/indisponibilité d'un élément de taux de panne λ et de taux de réparation μ

Les paramètres des lois, inscrits entre parenthèses, doivent être saisis respectivement dans les cases correspondantes comme indiqué dans l'exemple précédent (Loi normale

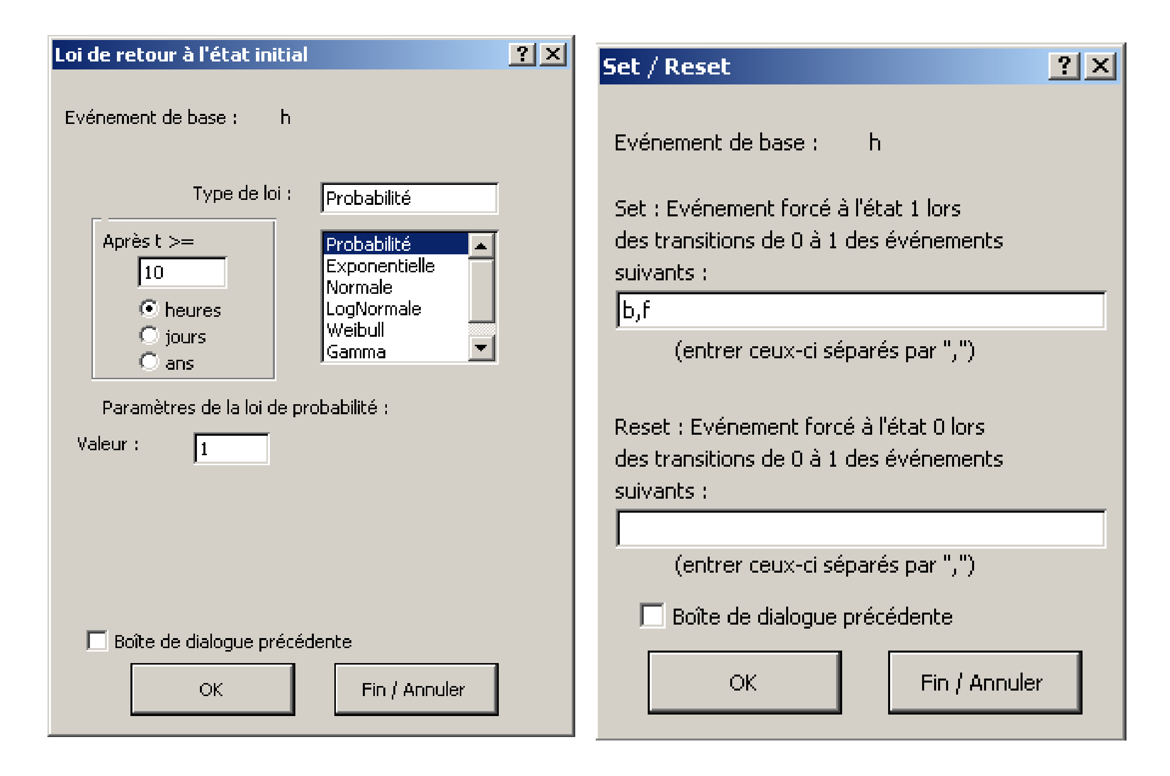
de moyenne 5 heures et d'écart type 1,5 heure). Ces paramètres sont définis dans une unité relative à l'heure.

Une case à cocher permet de saisir une loi de retour à l'état initial qui ne sera considérée que par la fonction de simulation dynamique de l'arbre.

De même la case "Set / Reset" ne concerne que la simulation. Elle permet de définir une condition de forçage à l'état 1 ou 0 de l'événement considéré lors de la transition de 0 à 1 de l'un ou de plusieurs autres événements.

L'action sur le bouton ″OK″ entraîne la mise à jour de la table à partir des informations saisies dans la boîte de dialogue, puis l'affichage de l'une des boîtes de dialogue propre à la fonction de simulation, si l'une des cases correspondantes a été cochée (voir ci-dessous), ou la sélection de l'événement de base suivant.

L'action sur le bouton ″Fin / Annuler″ termine cette procédure.



Saisie d'informations propres à la fonction de simulation (ignorées par la fonction de calcul)

Maintenance périodique

Une action de maintenance périodique peut se caractériser par son efficacité (probabilité de réparation en cas de panne) et par un éventuel rajeunissement dans le cas d'éléments soumis à dégradation ou usure.

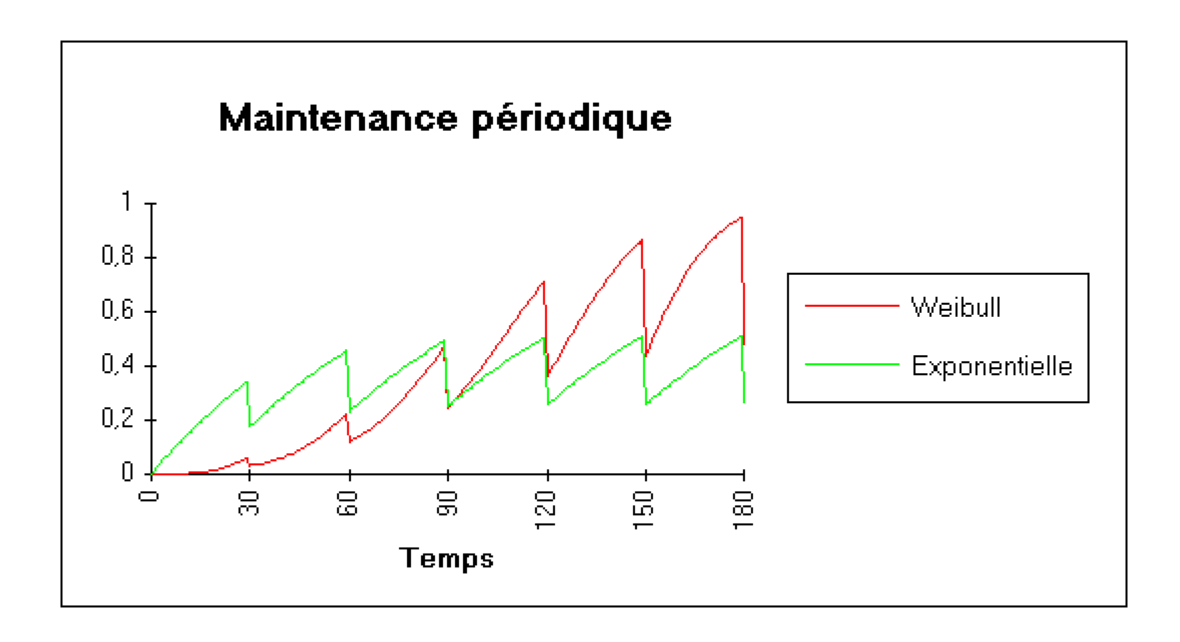
Un tel rajeunissement peut être modélisé par un taux de défaillance de type :

$\lambda = \lambda\ (t - \rho\ k_{(t)}T)$ avec 0 (maintenance minimale) $\leq \rho \leq$ 1 (maintenance parfaite)

dans lequel un âge virtuel est calculé à partir de la dernière action de maintenance en considérant un facteur de rajeunissement ρ, correspondant par exemple à la proportion du taux de défaillance des pièces remplacées.

Les lois de probabilité Exponentielle et de Weibull permettent de considérer de telles actions de maintenance par l'ajout de paramètres spécifiques :

- Exponentielle (Lambda; Période; Efficacité)
- Weibull (Béta; Gamma; Sigma; Période; Efficacité; Rajeunissement)



5 Traitement de l'arbre

5.1 Coupes minimales

Une coupe est une combinaison d'événements dont la réalisation entraîne celle de l'événement considéré. Les coupes minimales représentent les plus petites combinaisons qui conduisent à cet événement.
L'événement sommet de l'arbre de la page 10 présente ainsi les coupes minimales suivantes :

Coupes de a classées par ordre croissant	**Ordre**
d*~g*~h	3
e*~g*~h	3
f*~g*~h	3

Le symbole ″~″ signifie la négation, et l'opérateur ET est remplacé par ″*″ :

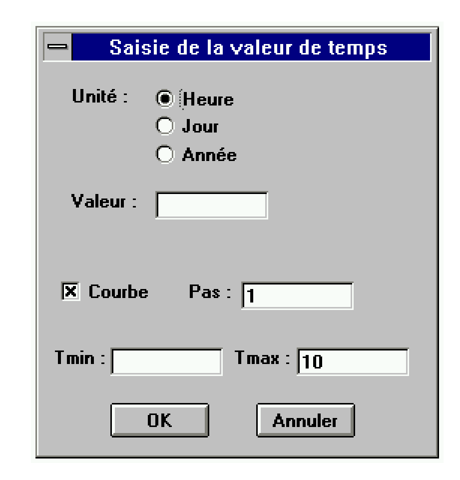
d*~g*~h = d ET NON(g) ET NON(h)

L'ordre est le nombre d'événements entrant dans la coupe.

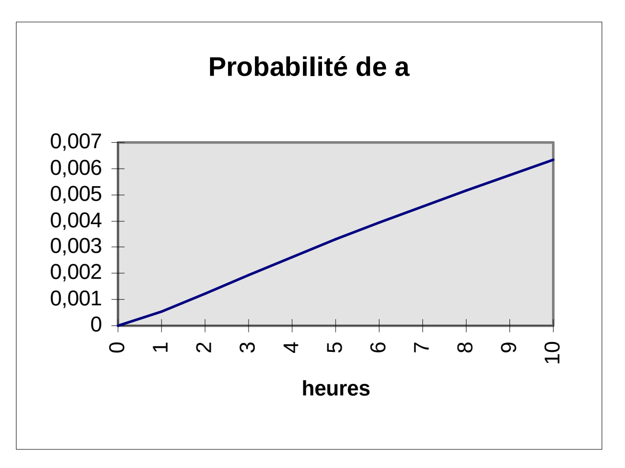
La commande ″Coupes minimales″ du menu permet d’obtenir les coupes minimales de n'importe quel événement d'un arbre, classées suivant l'ordre ou la probabilité d'occurence.
L'événement peut être préalablement sélectionné sur l'arbre ou dans la table, ou choisi dans une boîte de dialogue au moyen d'une liste déroulante.
La probabilité de chacune des coupes peut être obtenue si les lois de probabilité d'occurrence des événements de base ont été préalablement saisies.

5.2 Calcul de probabilité

Dès que les lois de probabilité d'occurrence des événements de base ont été saisies, la commande ″Calcul de probabilité″ du menu permet de calculer la probabilité des événements de l'arbre ou le facteur d’importance des événements de base.
Le calcul de probabilité peut concerner l'ensemble des événements de l'arbre ou être limité à un événement particulier. Dans ce cas, la courbe d'évolution de la probabilité en fonction du temps peut être obtenue en définissant dans une boîte de dialogue le temps initial (0 par défaut), le temps maximum et le pas de calcul :



Temps	Probabilité de a
0	0
1	0,00053482
2	0,00121247
3	0,00192396
4	0,00262394
5	0,00329744
6	0,003943
7	0,00456438
8	0,00516662
9	0,00575449
10	0,00633191



Le calcul effectué par l'outil est un calcul exact qui ne comprend aucune approximation. Celui-ci est basé sur le théorème de Bayes qui permet de calculer la probabilité d'un événement à partir de probabilités d'événements conditionnels.

Son principe est illustré par l'exemple suivant dans lequel les coupes minimales ne sont pas indépendantes entre elles (les événements b et d se retrouvant dans différentes coupes) :

$$a = b*\sim c + \sim b*d*e + d*f + g$$

$$\begin{aligned} P(a) = \; & P(b = 1;d = 1)*P(\sim c + f + g) \\ & + P(b = 1;d = 0)*P(\sim c + g) \\ & + P(b = 0;d = 1)*P(e + f + g) \\ & + P(b = 0;d = 0)*P(g) \end{aligned}$$

Différents facteurs d'importance sont proposés par l'outil :

- La probabilité conditionnelle : $P(a/e_i)$ (Probabilité de a sachant l'événement e_i)
- Le facteur d'importance de diagnostic (Vesely et Fussel) : $P(e_i /a) = Pe_i * P(a/e_i) / Pa$
- Le facteur d'importance marginal (Birnbaum) : $\delta Pa/\delta Pa = P(a/e_i)- P(a/non\ e_i)$
- Le facteur d'importance critique (Lambert) : $\delta Pa/\delta Pa = Pe_i /Pa * [P(a/e_i)- P(a/non\ e_i)]$
- Le facteur d'augmentation du risque : $P(a/e_i) / Pa$
- Le facteur de diminution du risque : $Pa / P(a/non\ e_i)$

Remarque : La porte OU Exclusive n'est pas traitée par la fonction de calcul. Elle est uniquement traitée par simulation.

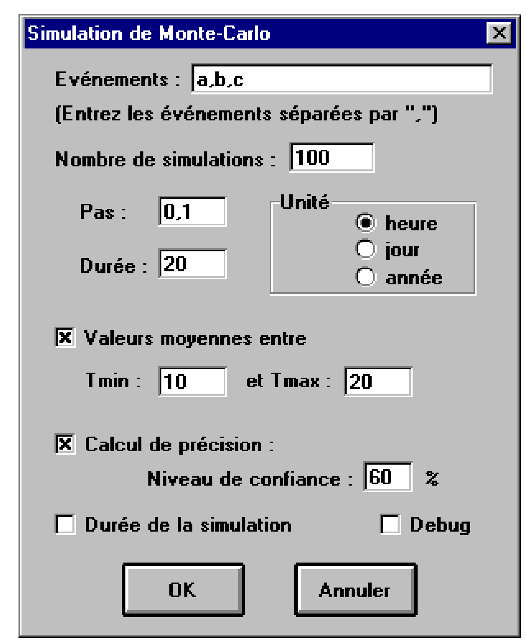
5.3 Simulation

Cette fonction permet d'évaluer, par simulation de Monte-Carlo, les probabilités des divers événements de l'arbre en fonction du temps, ainsi que les valeurs moyennes des paramètres caractéristiques suivants, à l'intérieur d'un intervalle de temps défini par l'utilisateur :

. DUT (Down Up Transition) : nombre moyen de transitions de 0 à 1
. UDT (Up Down Transition) : nombre moyen de transitions de 1 à 0
. MDT (Mean Down Time) : durée moyenne à l'état 0
. MUT (Mean Up Time) : durée moyenne à l'état 1
. Probabilité moyenne

Elle peut prendre en compte des lois d'apparition et de disparition des événements de base ainsi que certaines relations de dépendance entre événements (Set / Reset). Les portes DELAI (temporisation), ET CONDITIONNE (b ET c si b avant c) et OU Exclusive peuvent être ainsi traitées par la simulation.

La commande "Simulation" du menu entraîne l'affichage de la boîte de dialogue suivante :



Les événements à évaluer peuvent être préalablement sélectionnés sur l'arbre ou dans la table ou directement inscrits dans la case correspondante.

Le nombre de simulations (100), le pas d'analyse (0,1 heures) et la durée de celle-ci (de 0 à 20 heures) sont saisis par l'utilisateur dans les cases correspondantes.

Le calcul des valeurs moyennes des paramètres caractéristiques définis précédemment est optionnel. L'intervalle de temps pendant lequel ces valeurs seront calculées est défini par Tmin (10 heures) et Tmax (20 heures).

Le calcul de la précision, qui dépend du nombre de simulations effectuées, est également optionnel. L'intervalle de confiance, au niveau demandé (60 %), peut être calculé pour chaque événement.

La case à cocher "Durée de simulation" permet d'évaluer la durée d'une simulation ainsi que la durée globale du traitement pour le nombre de simulations demandées. Cette durée dépend essentiellement du nombre de transitions d'états des divers événements pendant la durée d'analyse.

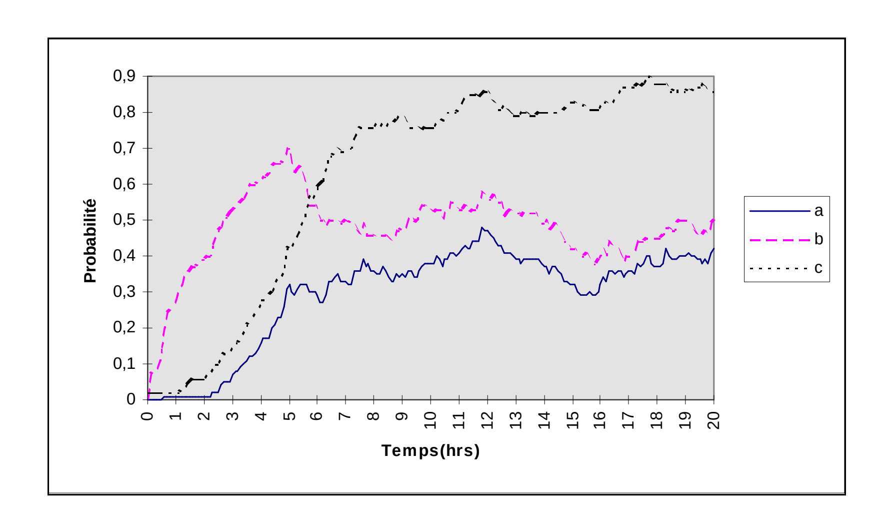
La case à cocher "Debug" permet d'obtenir le chronogramme d'une simulation à des fins de test.

Les exemples suivants illustrent les différentes fonctionnalités de l'outil.

Exemple 1 :

Variable	Porte	Etat initial	Loi	Après t >=	Loi de retour	Après t >=
a	ET(b,c)					
b	-	0	Exp(0,2)	0	Pro(1)	5
c	-	0	Nor(5;2)	0	Exp(0,05)	0

Résultats aprés 100 simulations

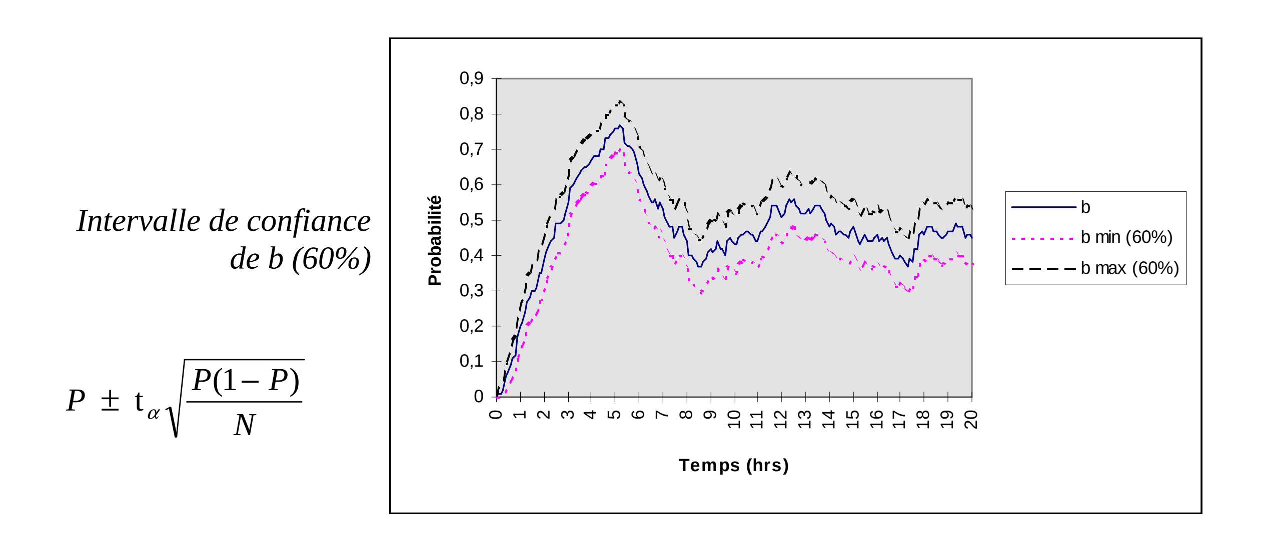


Valeurs moyennes entre Tmin = 10 et Tmax = 20

	a	b	c
DUT	0,970	0,900	0,390
Sigma(DUT)	0,699	0,624	0,546
UDT	0,950	0,950	0,290
Sigma(UDT)	0,654	0,589	0,454
MDT (hrs)	2,979	2,509	4,247
Sigma(MDT)	2,125	1,941	1,518
MUT (hrs)	3,238	5,000	3,266
Sigma(MUT)	1,784	0,000	1,500
Proba. Moy.	0,381	0,479	0,833
Sigma(Proba)	0,002	0,003	0,007

Intervalle de confiance de b (60%)

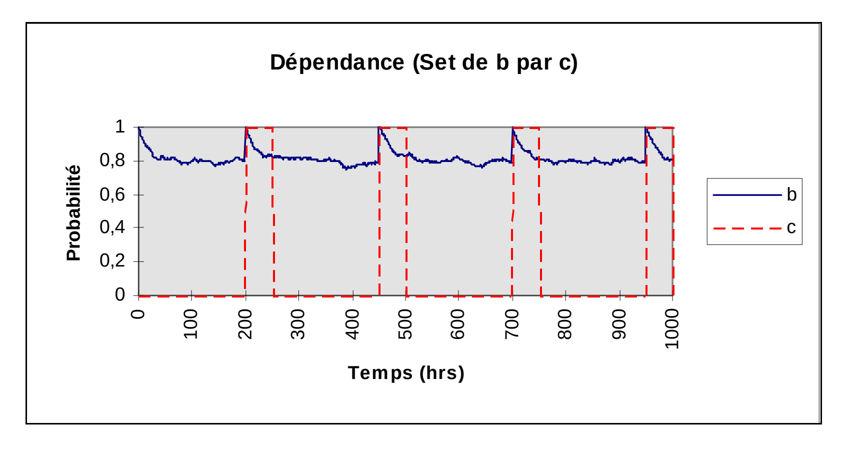
$$P \pm t_{\alpha}\sqrt{\frac{P(1-P)}{N}}$$

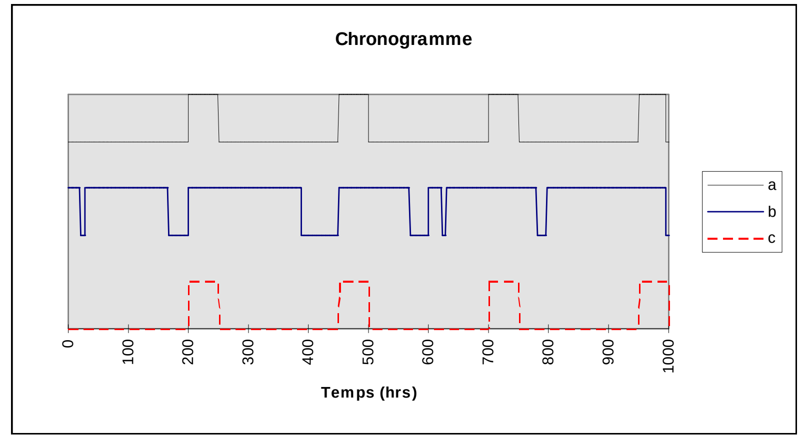


Exemple 2 :

Relation de dépendance

Variable	Porte	Etat initial	Loi	Après t >=	Loi de retour	Après t >=	Set	Reset
a	ET(b,c)							
b	-	1	Exp(0,01)	0	Exp(0,04)	0	c	
c	-	0	Pro(1)	200	Pro(1)	50		





Dans cet exemple, l'événement b est forcé à l'état 1 lors de la transition montante (de 0 à 1) de l'événement c. Si l'événement b est déjà dans l'état 1, la transition de c n'a pas d'effet.

Remarques :

L'opérateur "Non( )" peut être utilisé dans les colonnes "Set" et "Reset" pour que le forçage s'effectue sur la transition descendante de l'événement (de 1 à 0). On peut ainsi remplacer c par non(c) dans l'exemple précédent.

Ce même opérateur peut être utilisé dans une porte logique de type ET, OU, NON ET ou NON OU pour faciliter la saisie d'une table de simulation. On peut ainsi écrire ET(b, non(c)) dans la colonne porte mais cette facilité n'est permise que pour la fonction simulation.

lois de probabilité personnalisées :

Outre les lois de probabilité standards proposées à l'utilisateur, l'outil de simulation offre la possibilité de construire des lois de probabilité personnalisées.
Bien que, dans la plupart des cas, ces lois puissent être obtenues par combinaison de lois standards en utilisant éventuellement des relations de dépendance, elles facilitent le traitement de problèmes génériques et diminuent la durée des simulations.

Ecrites sous forme de macro-fonctions EXCEL dans le fichier LOI_PERSO\LOI.XLA du répertoire PERSO, elles seront directement lues par l'outil lors des simulations.
Pour écrire dans ce fichier de type ″macro complémentaire internationale ″, il est nécessaire d'appuyer sur les touches ″Shift″ et ″Contrôle″ durant l'ouverture (procédure EXCEL).

Le format utilisé est le suivant (exemple de la loi exponentielle) :

Loi_perso
```
=ARGUMENT("T",1)
=ARGUMENT("Attente",1)
=ARGUMENT("Loi",2)
    Exponentielle
=IF(LEFT(Loi,3)="Exp",,GOTO(R[4]C))
=SET.NAME("Lambda",VALUE(LEFT(RIGHT(Loi,LEN(Loi)-4),LEN(Loi)-5)))
=SET.NAME("d_T",Attente-(LN(RAND())/Lambda))
=RETURN(D_T)
    Fonction suivante
=IF(LEFT(Loi,3)="XXX",,GOTO(   )
    . . . .
```

Le nom des fonctions est limité à 3 lettres (Exp). Les arguments utilisés sont les suivants :
T : temps courant,
Attente : durée saisie dans la table qui s'ajoute à la durée de transition,
Loi : nom de la fonction et de ses arguments tels que saisis dans la table
(les virgules dans les nombres étant remplacées par des points : Exp(0.7)).

En retour, la fonction renvoie la durée avant la transition (d_T).

6 Enregistrement

Seule la table doit être enregistrée comme n'importe quel document du tableur.
En effet, l'enregistrement de l'arbre n'est pas nécessaire car il peut être régénéré par l'outil à partir de la table, alors qu'inversement il n'est pas possible d'obtenir la table à partir de l'arbre.

7 Impression

7.1 Impression de l'arbre

La commande ″ Impression de l'arbre ″ du menu permet de découper et de formater l'arbre suivant la mise en page du document d'origine (portrait ou paysage).
Des documents d'impression comprenant un système de renvoi entre pages sont alors générés par l'outil.
Au travers d'une boîte de dialogue, l'utilisateur choisit l'échelle de l'impression et peut conserver ces documents ou commander leur impression effective.

Remarque : La largeur des colonnes du document d'origine est conservée dans les documents d'impression sauf si celle-ci n'est pas uniforme.

7.2 Impression de la table

La commande ″ Impression de la table ″ du menu permet d'imprimer la table de saisie.

ANNEXE

Application de la simulation à des problématiques du domaine spatial

A titre d'exemple, deux fonctions utilisées pour évaluer la disponibilité de constellations de satellites sont fournies d'origine dans le fichier LOI.XLA.

La fonction TIR définit la date de lancement d'un satellite et la fonction SAT celle de sa perte.

TIR(Premier_Tir;Délai_si_échec;Fiab_lanceur;Dernier_Tir)

Premier_Tir : date du premier tir, en années (à omettre si cette date est indéterminée).
Délai_si_échec : délai avant prochain lancement, en années, en cas d'échec du lanceur (Pas de nouvelle tentative en cas d'omission).
Fiab_lanceur : Fiabilité du lanceur (égale à 1 si omis).
Dernier_Tir : date au plus tard d'un tir en années (à omettre si correspond à la fin de la mission simulée).

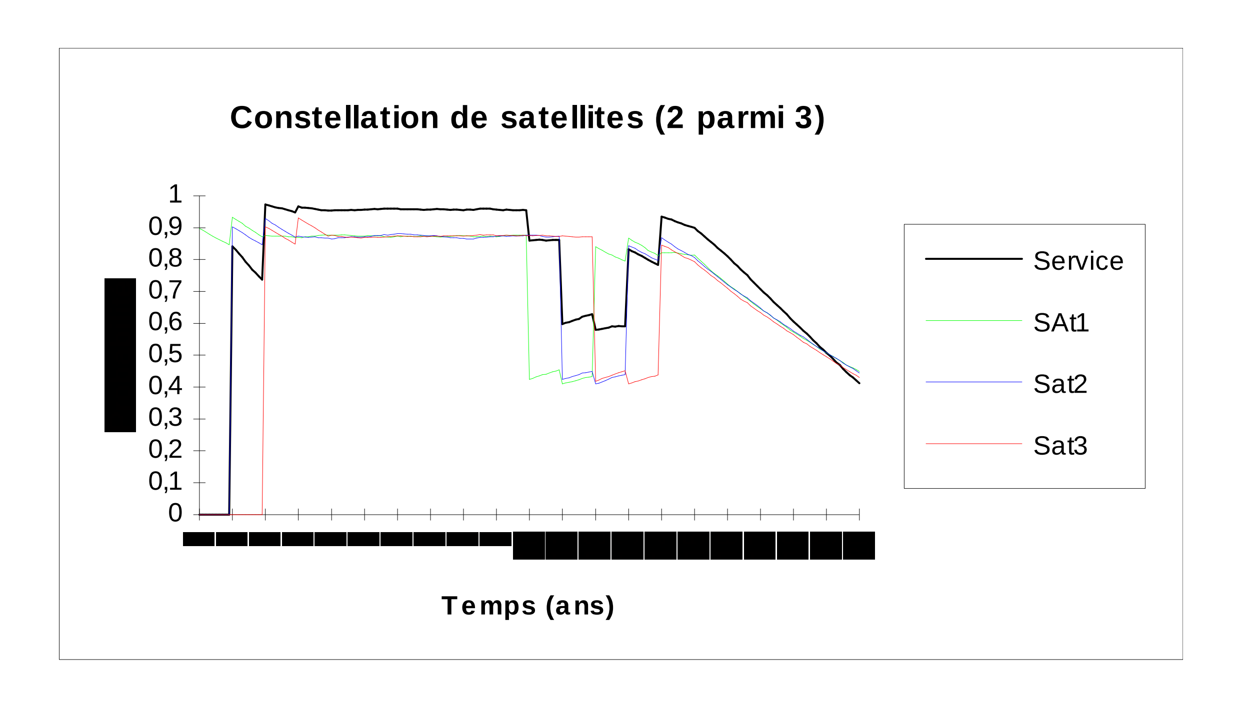
La durée d'attente peut être utilisée pour simuler la durée avant lancement d'un satellite de rechange (voir l'exemple suivant).

SAT(Fiab_sat;T_Fiab;D_vie)

Fiab_sat : Fiabilité du satellite pour la durée T_Fiab (Loi exponentielle)
T_Fiab : Durée correspondante à Fiab_sat (en années)
D_vie : Durée de vie maximum du satellite (en années)

Exemple 3 : Utilisation de lois de probabilité personnalisées

Intitulé	Variable	Porte	Etat initial	Loi	Après t >= (heures)	Loi de retour	Après t >=
Service	a	KpN(2/3,b,c,d)					
Satellite 1	b	-	0	Tir(0;1;0,9;15)	17520	SAT(0,5;10;10)	0
Satellite 2	c	-	0	Tir(1;1;0,9;15)	17520	SAT(0,5;10;10)	0
Satellite 3	d	-	0	Tir(2;1;0,9;15)	17520	SAT(0,5;10;10)	0



Bien que volontairement simplifié, l'exemple présenté ci-après illustre la capacité de modélisation et de simulation de l'outil. Cet exemple générique décrit la problématique du renouvellement de satellites dans un plan orbital d'une constellation.

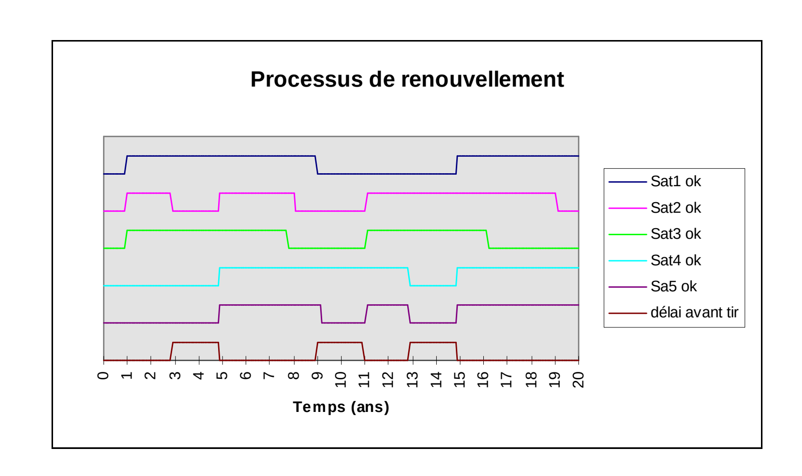
Exemple 4 : Simulation d'un système complexe

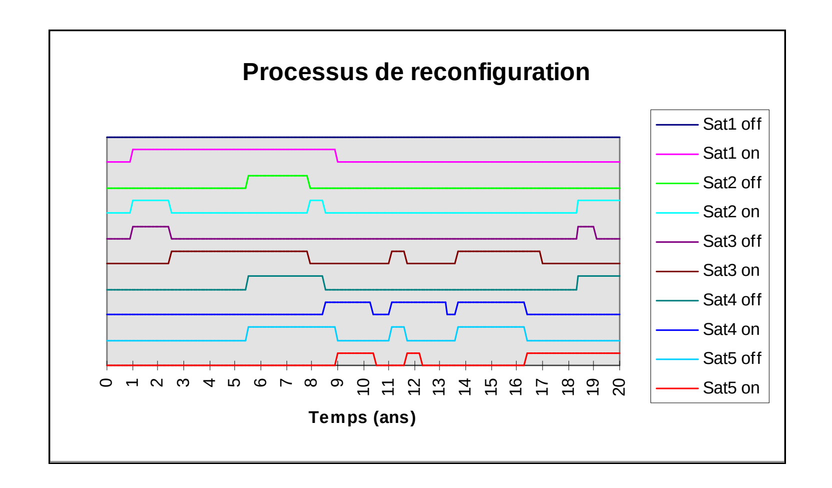
. *Constellation de 2 satellites opérationnels plus un certain nombre de satellites de rechange en orbite*
. *Lancement par grappe de 3*
. *Premier lancement à T = 1 an*
. *Décision d'un nouveau tir à la perte de toute rechange*
. *Délai avant tir : 2 ans*
. *Fiablité du lanceur : 0,95*
. *Report d'un an en cas d'échec*
. *Taux de panne d'un satellite opérationnel ≠ taux de panne d'un satellite de rechange*
. *Durée de vie de 8 ans (limitation en ergol)*

Intitulé	Variable	Porte	Etat initial	Loi	Loi de retour	Après t > =	Set	Reset
Dispo service	a	KpN(2/5,ac,bc,cc,dc,ec)						
Premier tir	b	-	0	Tir(1;1;0,95)				
Non Renouvellement	c	KpN(3/5,ad,bd,cd,dd,ed)						
Délai avant tir	d	-	0		Tir(;1;0,95)	17520	non(c)	
Pulse Renouv.	e	-	0		Pro(1)	1	non(d)	
Durée de vie 1	aa	-	0		Pro(1)	70080	b,non(af)	non(ad)
Sat1 off	ab	-	0		Exp(0,000004)	0	b,non(af)	ac,non(aa)
Sat1 on	ac	-	0		Exp(0,00004)	0	ae	non(aa)
Sat1 ok	ad	OU(ab,ac)						
Reconf 1	ae	ET(non(a),ab)						
Condition renouv. 1	ag	KpN(2/4,bd,cd,dd,ed)						
Renouvellement 1	af	ET(e,non(ad),ag)						
Durée de vie 2	ba	-	0		Pro(1)	70080	b,non(bf)	non(bd)
Sat2 off	bb	-	0		Exp(0,000004)	0	b,non(bf)	bc,non(ba)
Sat2 on	bc	-	0		Exp(0,00004)	0	be	non(ba)
Sat2 ok	bd	OU(bb,bc)						
Reconf 2	be	ET(non(a),bb,non(ab))						
Condition Renouv. 2	bg	KpN(1/3,cd,dd,ed)						
Renouvellement 2	bf	ET(e,non(bd),bg)						
Durée de vie 3	ca	-	0		Pro(1)	70080	b,non(cf)	non(cd)
Sat3 off	cb	-	0		Exp(0,000004)	0	b,non(cf)	cc,non(ca)
Sat3 on	cc	-	0		Exp(0,00004)	0	ce	non(ca)
Sat3 ok	cd	OU(cb,cc)						
Reconf 3	ce	ET(non(a),cb,non(ab),non(bb))						
Renouvellement 3	cf	ET(e,non(cd))						
Durée de vie 4	da	-	0		Pro(1)	70080	non(df)	non(dd)
Sat4 off	db	-	0		Exp(0,000004)	0	non(df)	dc,non(da)
Sat4 on	dc	-	0		Exp(0,00004)	0	de	non(da)
Sat4 ok	dd	OU(db,dc)						
Reconf 4	de	ET(non(a),db,non(ab),non(bb),non(cb))						
Renouvellement 4	df	ET(e,non(dd))						
Durée de vie 5	ea	-	0		Pro(1)	70080	non(ef)	non(ed)
Sat5 off	eb	-	0		Exp(0,000004)	0	non(ef)	ec,non(ea)
Sat5 on	ec	-	0		Exp(0,00004)	0	ee	non(ea)
Sat5 ok	ed	OU(eb,ec)						
Reconf 5	ee	ET(non(a),eb,non(ab),non(bb),non(cb),non(db))						
Renouvellement 5	ef	ET(e,non(ed))						

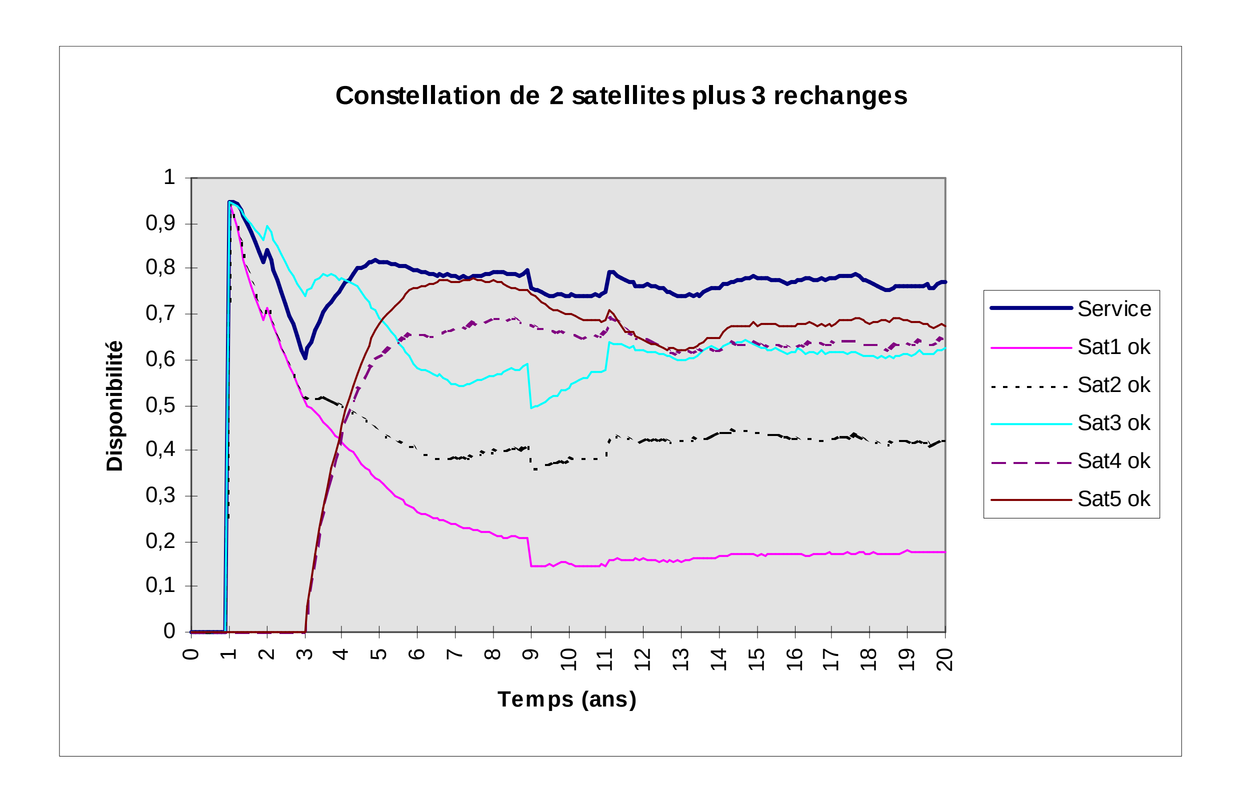
Remarque : La stratégie de renouvellement proposée dans cet exemple n'est pas optimale car elle n'anticipe pas la fin de vie des satellites. Elle peut être améliorée simplement en considérant qu'un satellite est perdu avant sa fin de vie réel pour tenir compte du délai avant tir (2 ans ou 4 ans pour pallier un échec éventuel au lancement).

Ordre de renouvellement : Sat5, 4, 3...





Ordre d'utilisation : Sat1, 2, 3...



Constellation de satellites (modélisation d'un plan d'orbite)

CONTRAT DE LICENCE D'UTILISATION

DU PROGICIEL CABTREE

ARTICLE 1 : OBJET

Le présent contrat a pour objet de définir les conditions dans lesquelles la société CAB INNOVATION concède au client le droit d'utilisation incessible, non-exclusif et personnel du progiciel dénommé "CABTREE" et dont les caractéristiques sont indiquées dans le manuel utilisateur.

ARTICLE 2 : ETENDUE DU DROIT D'UTILISATION

Le client peut utiliser le progiciel sur un ordinateur individuel et sur un deuxième ordinateur à condition qu'il ne fonctionne pas en même temps que le premier. Le client ne peut détenir qu'une copie du progiciel conservée en lieu sûr à titre de sauvegarde.

Si la présente licence concerne une utilisation sur site, le client peut installer le progiciel sur un serveur, en respectant scrupuleusement les conditions d'achat indiquées aux conditions particulières définissant notamment le nombre maximum d'utilisateurs pouvant utiliser le progiciel à partir de leur terminal et le nombre maximum d'utilisateurs pouvant l'utiliser simultanément. Le client est alors autorisé à effectuer un nombre de copies de la documentation du progiciel égal au nombre maximum d'utilisateurs pouvant l'utiliser.

CAB INNOVATION pourra procéder par elle-même ou par un organisme spécialisé qu'elle aura habilité à cet effet, à des contrôles dans les locaux du client pour vérifier le respect par ce dernier de ses engagements : nombre d'exemplaires utilisés du progiciel, localisation de ces exemplaires, etc... Les parties conviendront des modalités pratiques de l'exécution de ces contrôles de manière à perturber, le moins possible, l'activité du client.

ARTICLE 3 : LIVRAISON, INSTALLATION ET RECEPTION

Le progiciel et les fournitures qui l'accompagnent seront remis au client à la date de réception postale. Le client assure à ses frais l'installation du progiciel à l'aide du manuel remis à cet effet par CAB INNOVATION.
Le client procède à l'inventaire et doit signaler à CAB INNOVATION, dans les trois jours ouvrables de la livraison, toute non conformité apparente par rapport à la commande. Le client est responsable de la perte ou de tout dommage survenant aux fournitures à compter de la livraison.

ARTICLE 4 : ESSAI ET GARANTIE

La garantie prend effet à compter de 1a date postale de livraison visée à l'article 3 et dure trois mois.
Pendant la durée de la garantie, si le client constate une anomalie de fonctionnement du progiciel, il le signale à CAB INNOVATION, pour recevoir toutes explications utiles en vue de remédier à cette anomalie. Si l'anomalie persiste, le client renvoie à CAB INNOVATION, à ses frais et en recommandé avec demande d'avis de réception, le C.D. ROM en indiquant précisément les anomalies rencontrées, au siège social de CAB INNOVATION.

CAB INNOVATION expédie à ses frais au client une nouvelle version du produit, dans les trois mois de la réception de l'envoi visé au paragraphe qui précède. Cette nouvelle version bénéficie de la même garantie que celle dont bénéficiait la première version.

Le client perd le bénéfice de la garantie s'il ne respecte pas les recommandations du manuel d'utilisation, s'il procède à des modifications de la configuration visée à l'article 2 ci-dessus sans avoir obtenu l'accord écrit préalable de CAB INNOVATION, ou s'il procède à des modifications, adjonctions, corrections, etc... sur le progiciel, même avec le concours d'un prestataire spécialisé, sans avoir obtenu au préalable l'accord écrit de CAB INNOVATION.

ARTICLE 5 : PROPRIETE

CAB INNOVATION déclare détenir sur le progiciel CABTREE et sa documentation la totalité des droits prévus par le code de la propriété intellectuelle.

La présente concession du droit d'utilisation n'entraînant aucun transfert du droit de propriété, le client s'interdit
- toute reproduction du progiciel CABTREE, totale ou partielle, quelle qu'en soit la forme, sauf le nombre d'exemplaires autorisé à l'article 2 ;
- toute transcription du progiciel CABTREE dans d'autres langages que celui prévu au présent contrat (cf. annexe), toute adaptation pour l'utiliser sur d'autres matériels ou avec d'autres progiciels de base que ceux prévus au présent contrat.

Pour assurer cette protection de la propriété, le client s'engage notamment à

- maintenir apparentes les mentions de propriété et de copyright que CAB INNOVATION aurait apposées sur les programmes, les supports et la documentation ;
- prendre à l'égard de son personnel et de toute personne extérieure toutes mesures utiles d'information et de prévention.

ARTICLE 6 : USAGE DES SOURCES

Toute modification du progiciel CABTREE, transcription et, d'une manière générale, toute opération nécessitant l'usage des sources et de leur documentation sont exclusivement réservées à CAB INNOVATION.
Le client conserve le droit d'obtenir les informations nécessaires à l'interopérabilité du progiciel avec d'autres logiciels qu'il utilise, dans les conditions prévues au code de la propriété intellectuelle.
Dans chaque cas, un avenant aux présentes en fixera le prix, les délais et les conditions générales d'exécution.

ARTICLE 7 : RESPONSABILITE

Le client est responsable :
- du choix du progiciel CABTREE, de son adéquation à ses besoins, des précautions à prendre et des sauvegardes à constituer pour son exploitation, de la qualification de son personnel, ayant reçu de CAB INNOVATION les conseils et informations nécessaires sur ses conditions d'utilisation et les limites de ses performances indiquées dans le manuel utilisateur,
- de l'usage qu'il fait des résultats qu'il obtient.

CAB INNOVATION est responsable de la conformité du progiciel à sa documentation. Il appartient au client de prouver la non-conformité éventuelle.
CAB INNOVATION n'assume aucune garantie de quelque nature, et à quelque titre que ce soit, explicite ou implicite, en rapport avec le progiciel, les manuels, la documentation l'accompagnant ou tout support ou matériel fourni et, notamment, aucune garantie pour la commercialisation, de tous produits en rapport avec le progiciel ou pour l'utilisation du progiciel pour un usage déterminé, aucune garantie d’absence de contrefaçon, etc...
En aucun cas CAB INNOVATION ne pourra être tenu pour responsable de tout dommage, de quelque nature que ce soit, notamment perte d'exploitation, perte de données ou toute autre perte financière résultant de l'utilisation ou de l'impossibilité d'utiliser le progiciel CABTREE, même si CAB INNOVATION a été prévenu de l'éventualité de tels dommages.
Dans le cas où la responsabilité de CAB INNOVATION serait retenue, il est expressément convenu que le total des indemnisations qui seraient mises à sa charge, toutes causes confondues, ne pourrait en aucune façon dépasser le prix de la redevance initiale minoré de 25 % par période de douze mois écoulée depuis la date postale de livraison.

ARTICLE 8 : DUREE

Le présent contrat est conclu pour une durée indéterminée à compter de la date mentionnée à l'article 3.

ARTICLE 9 : RESILIATION

Chacune des parties peut résilier le présent contrat, par lettre recommandée avec demande d'avis de réception adressée à l'autre partie, pour tout manquement de cette dernière à ses obligations, malgré une mise en demeure restée sans effet pendant quinze jours, et ce sans préjudice des dommages-intérêts auxquels elle pourrait prétendre et sous réserve de l'application du dernier paragraphe de l'article 7 ci-dessus.

Au terme du présent contrat ou en cas de résiliation quelle qu'en soit la cause, le client devra cesser d'utiliser le progiciel CABTREE, payer l'ensemble des sommes restant dues à la date de la résiliation et restituer la totalité des éléments constituant le progiciel (programmes informatiques, documentation, etc ...) sans en conserver de copie.

ARTICLE 10 : REDEVANCE

Le client verse à CAB INNOVATION, en paiement de la concession du droit d'utilisation, une redevance initiale dont le montant est déterminé dans les conditions particulières.

ARTICLE 11 : INTERDICTION DE CESSION

Le client s'interdit de céder le droit d'utilisation du progiciel qui lui est concédé personnellement par les présentes. Le client s'interdit également de mettre le progiciel, la documentation et les supports (CD ROM), même gratuitement, à la disposition d'une personne non expressément visée au deuxième paragraphe de l'article 2.

ARTICLE 12 : PRESTATIONS COMPLEMENTAIRES

Toutes prestations complémentaires feront l'objet d'un avenant aux présentes, éventuellement par échange de lettres, afin d'en préciser le contenu, les modalités de réalisation et le prix.

ARTICLE 13 : MAINTENANCE CORRECTIVE ET PREVENTIVE

La maintenance corrective et préventive peut faire l'objet, à la demande du client, d'un contrat séparé qui est l'accessoire des présentes.

ARTICLE 14: INTEGRALITE DU CONTRAT

Est annexé aux présentes le manuel utilisateur définissant les caractéristiques du progiciel CABTREE.
Les dispositions du présent contrat et de son annexe expriment l'intégralité de l'accord conclu entre les parties. Elles prévalent sur toutes propositions, échanges de lettres antérieures à sa signature, ainsi que sur toute autre disposition figurant dans les documents échangés entre les parties et relatifs à l'objet du contrat.
Si l'une quelconque des clauses du présent contrat est nulle au regard d'une règle de droit ou d'une loi en vigueur, elle sera réputée non écrite mais n'entraînera pas la nullité du contrat.

ARTICLE 15: PUBLICITE

CAB INNOVATION pourra citer dans ses références commerciales le client comme utilisateur du progiciel CABTREE.

ARTICLE 16 : CONFIDENTIALITE

Chacune des parties s'engage à ne pas divulguer les documents ou renseignements de toute nature sur l’autre partie dont elle aurait eu connaissance à I'occasion de l’exécution du contrat et s'engage à faire respecter cette obligation par les personnes dont elle est responsable

ARTICLE 17 : LANGUE DU CONTRAT

Le présent acte est conclu et rédigé en langue française.
Dans le cas où il serait traduit en une ou plusieurs langues étrangères, seul le texte français ferait foi en cas de litige entre les parties.

ARTICLE 18 : DROIT APPLICABLE-LITIGES

Le présent acte est soumis au droit français.
En cas de contestation sur l'interprétation et sur l'exécution de l'une quelconque des dispositions du présent contrat et à défaut d'accord des parties pour avoir recours à une procédure d'arbitrage, les tribunaux de TOULOUSE seront seuls compétents pour connaître du litige, nonobstant le pluralité de défendeurs ou l'appel en garantie.